



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*  
DOUTORADO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

**ISOLAMENTO TÉRMICO: APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE  
MATERIAIS NATURAIS E INOVADORES PARA EDIFICAÇÕES**

Rodrigo Spinelli

Lajeado, outubro de 2019

Rodrigo Spinelli

## **ISOLAMENTO TÉRMICO: APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS E INOVADORES PARA EDIFICAÇÕES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do grau de Doutor em Ambiente e Desenvolvimento, na área de concentração Tecnologia e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Odorico Konrad

Coorientador: Prof. Dr. Faustino Patiño-Cambeiro

Lajeado, outubro de 2019

Rodrigo Spinelli

## **ISOLAMENTO TÉRMICO: APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS E INOVADORES PARA EDIFICAÇÕES**

A Banca examinadora abaixo aprova a Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do grau de Doutor em Ambiente e Desenvolvimento, na área de concentração Tecnologia e Ambiente:

Prof. Dr. Odorico Konrad - Orientador  
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Dr. Faustino Patiño-Cambeiro - Coorientador  
Universidade de Vigo

Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Profa. Dra. Betina Hansen  
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Dr. Eduardo Périco  
Universidade do Vale do Taquari

Lajeado, outubro de 2019

## DEDICATÓRIA

À meus filhos Enrico e Martín.  
Aos meus pais Inez e Enory.



## **AGRADECIMENTOS**

Traço aqui meu agradecimento a Vida, que guia toda a existência colocando pessoas maravilhosas nos meus caminhos, que me apoiaram e fortaleceram no dia-a-dia nesta grande jornada.

Aos meus filhos, Enrico e Martín, por participarem desta jornada de crescimento, e serem meu refúgio nos momentos de completa felicidade.

Meus pais, Inez e Enory, irmãos Fábio e Luís Felipe pelo seu apoio incondicional, principalmente nos períodos de grande intensidade emocional.

A Soraia pelo apoio e por me acompanhar neste momento tão importante (e pelos muitos mais que virão).

Ao meu padrinho Décio, pelo fornecimento da matéria prima para o desenvolvimento de parte da pesquisa.

Ao professor Dr. Odorico, pela amizade, disposição nos momentos de orientação e apoio para o desenvolvimento de temática da pesquisa. Também agradeço ao coorientador Faustino, pelas pertinentes colocações e conselhos para a estrutura do trabalho, mesmo que sendo a distância.

Aos amigos Dantara, Glauco, Luã, Laura, Leonardo e Amanda, a mestranda Alana e o bolsista Pedro, pela participação e apoio no desenvolvimento da pesquisa.

À UNIVATES, pelo apoio institucional oferecido para aprimoramento profissional. Agradecimento extensivo ao Setor de Engenharia e Manutenção e Jurídico, para que fosse possível desenvolver os protótipos da pesquisa, seguindo as normativas institucionais.

Ao PPGAD, por proporcionar o espaço de debate interdisciplinar quanto as questões ambientais, sociais e tecnológicas, ampliando o meu espectro de visão para a compreensão de um mundo mais amplo.

A equipe do Centro De Informações Hidrometeorológicas (CIH), pela disponibilidade sempre cordial quando solicitado o envio das informações climáticas coletadas pela estação meteorológica da UNIVATES.

“Significa que devemos estudar por amor ao conhecimento, por amor à aprendizagem, para que sejamos homens e mulheres livres.

Os alunos têm de compreender que não há saber sem conhecimento e que só se é livre se formos sábios”.

Nuccio Ordine

## RESUMO

As crises energéticas ocorridas nas últimas décadas apresentaram a crescente importância em se considerar as características climáticas de uma determinada região, para o desenvolvimento de projetos de edificações, utilizando de estratégias construtivas adequadas. Amplia-se também o debate em relação ao processo produtivo dos atuais materiais construtivos, tendo em vista que a indústria da construção civil é responsável pela extração de mais de 60% dos recursos naturais não renováveis do meio ambiente. Torna-se importante que se desenvolvam alternativas utilizando materiais fabricados a partir de elementos naturais, renováveis e com tecnologia inovadora, auxiliando na eficiência energética das edificações, no ambiente e desenvolvimento de regiões. A presente tese analisará as características climáticas da cidade de Lajeado/RS, definindo as estratégias construtivas adequadas para a cidade e região. A pesquisa se desenvolve a partir de revisão bibliométrica, analisando alternativas de materiais naturais e inovadores para isolamento térmico. O desenvolvimento de novos materiais construtivos para aplicação em isolamento térmico de edificações (sabugo de milho, palha de soja, casca de pinus, painel com vácuo e placa com *slimstone*), apresentam índices de condutividade térmica similares aos elementos industrializados, como o EPS. Os ensaios matemáticos e pelo método prescritivo como base para o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), indicam uma transmitância térmica adequada quando os materiais são combinados com elementos construtivos tradicionais da construção civil.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade na Construção Civil. Isolamento Térmico. Materiais Naturais. Materiais Inovadores. Eficiência Energética.

## ABSTRACT

The energetic crisis that have occurred in the last decades presented a growing importance in considering climatic characteristics from a determined region, for the development of projects and buildings, using adequate constructive strategies. The debate on the production process of current construction materials is also widening, given that the construction industry is responsible for extracting more than 60% of the non-renewable natural resources from the environment. It is important to develop alternatives using materials made from natural, renewable elements and with innovative technology, helping the energy efficiency of buildings, the environment and the development of regions. This thesis will analyze the climatic characteristics of the city of Lajeado / RS, defining the appropriate construction strategies for the city and region. The research develops from bibliometric review, analyzing alternatives of natural and innovative materials for thermal insulation. The development of new constructive materials for the application in thermal insulation for buildings (corn cob, soybean straw, Pinus bark, vacuum panel, and slimstone plate), have thermal conductivity indices similar to the industrialized elements, such as EPS. Mathematical tests by the prescriptive method used as base for the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C), indicate an adequate thermal transmission when the materials are combined with the traditional constructive elements used in civil construction.

**Keywords:** Sustainable Construction. Thermal Insulation. Natural Materials. Innovative Materials. Energy Efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável .....	10
Figura 2 - Selo PBE Edifica .....	15
Figura 3 – Estrutura da tese em artigos verticais .....	19
Figura 4 – Comparativo dos Índices de Condutividade Térmica ( $\lambda$ ) .....	158
Figura 5 – Placas Modeladas .....	160
Figura 6 – Amostras analisadas no MEV .....	160

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices de Condutividade Térmica e Densidade .....	161
Tabela 2 - Classificação da envoltória da edificação pelo RTQ-C .....	164
Tabela 3 – Economia de energia em relação ao tipo de envoltória .....	165
Tabela 4 – Relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) .....	168

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo de Temperaturas .....	163
Gráfico 2 – Comparativo de economia no consumo energético .....	166

## LISTA DE APÊNDICES

Documentos probatórios dos artigos desenvolvidos pelo discente, publicados e aceitos em periódicos com *Qualis* em Ciência Ambientais, e publicados em anais de eventos, vinculados ao projeto de pesquisa:

### **Apêndice A**

Documentos referente ao artigo publicado no periódico Revista Brasileira de Climatologia (ISSN 2237-8642), *Qualis* A2 em Ciências Ambientais ..... 178

### **Apêndice B**

Documentos referente ao artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais - RICA (ISSN 2179-6858), *Qualis* B1 em Ciências Ambientais ..... 185

### **Apêndice C**

Documentos referente ao artigo aceito para publicação na Revista *Advanced Materials Research* (ISSN 1662-8985), fator de impacto 0,87 ..... 189

### **Apêndice D**

Documentos referente ao artigo publicado na Revista Sustentabilidade em Debate (ISSN 2179-9067), *Qualis* B1 em Ciências Ambientais ..... 195

### **Apêndice E**

Documentos referente ao artigo em avaliação na Revista Sustentabilidade em Debate (ISSN 2179-9067), *Qualis* B1 em Ciências Ambientais ..... 200

### **Apêndice F**

Documentos referente ao aceite de artigo para apresentação e publicação nos anais do **Simpósio Mundial de Sustentabilidade, Conferência Internacional Bridge** ..... 204

### **Apêndice G**

Documentos referente ao artigo em avaliação na Revista *Environmental Quality Management* (ISSN 1088-1913), *Qualis* B1 em Ciências Ambientais ..... 207

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>09</b>
1.1 Tema .....	15
1.2 Problema.....	15
1.3 Objetivos .....	15
1.4 Justificativa.....	16
1.5 Estrutura da Tese .....	17
1.6 Capítulos Estruturais da Tese .....	19
<b>2 PRIMEIRO ARTIGO .....</b>	<b>23</b>
<b>3 SEGUNDO ARTIGO .....</b>	<b>43</b>
<b>4 TERCEIRO ARTIGO .....</b>	<b>59</b>
<b>5 QUARTO ARTIGO .....</b>	<b>78</b>
<b>6 QUINTO ARTIGO.....</b>	<b>94</b>
<b>7 SEXTO ARTIGO .....</b>	<b>119</b>
<b>8 SÉTIMO ARTIGO.....</b>	<b>136</b>
<b>9 DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>156</b>
9.1 Discussão dos Artigos Desenvolvidos.....	156
9.2 Análise de Comparativa de Resultados Obtidos em Protótipos .....	161
9.3 Avaliação pelo Método Prescritivo (RTQ-C).....	163
9.4 Simulação Matemática.....	165
9.5 Possibilidades de Ganhos Ambientais e a Relação com os ODS.....	166
<b>10 CONCLUSÕES .....</b>	<b>170</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>172</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Com a crise do petróleo nas décadas de 1960/70, veio à tona o problema energético. As energias fósseis, formadas há 400 milhões de anos, estão sendo rapidamente consumidas. Com isso, impõem-se a preocupação de se construir minimizando o consumo de energia e aproveitando melhor os recursos naturais. Construir com uma preocupação ambiental passa por redescobrir alguns princípios tradicionais de climatização naturais já esquecidos. Mais do que nunca a preocupação dos profissionais da construção civil deve ser “projetar com o clima” e não “contra o clima”, salientando-se a redução de consumo de energia, levando em consideração o emprego de elementos e técnicas construtivas adequadas. Este novo modelo de construção está ligado ao atendimento das necessidades urbanas contemporâneas de forma integrada com as questões ambientais (LAMBERTS et al., 2004).

Soffiati (2008) expõe que a partir da crise energética e ambiental, uma nova percepção em relação à poluição gerada e aos impactos gerados pelo homem, rompendo com o tradicional conceito antropocêntrico das sociedades capitalista e socialista. Surge uma nova forma de pensar, ainda incipiente, fundamentada no naturalismo filosófico, não religioso, de reconstrução da ligação entre natureza não humana com o ser humano. Este pensamento quer que o homem reflita sobre o seu lugar e todos os seres vivos na natureza.

Com o surgimento do Estilo Internacional, foi exportado como símbolo de poder, juntamente com os sofisticados sistemas de condicionamento e as técnicas construtivas sem sofrer readaptações às características culturais e climáticas do local de destino. A partir da crise energética do ano de 2001, no Brasil, aliada ao fator de “edifício estufa”, torna-se fundamental partir o conceito de projeto das características

do clima local onde estará inserida a edificação, para assim, atender ao conceito de eficiência energética. Os sistemas de ar-condicionado, iluminação artificial, envoltórias envidraçadas passaram a ser largamente utilizados, dando ao projetista uma posição bastante cômoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima (LAMBERTS et al., 2004).

Com a ampliação dos estudos apresentados em relação ao impacto ambiental da construção civil, começam a surgir os projetos dos *Green Buildings*, como uma iniciativa de reduzir os impactos das construções ao meio ambiente, mais como uma preocupação de economia de energia elétrica e evitar desperdício de água, que em relação a redução nas emissões de CO<sub>2</sub>, visto que as edificações são responsáveis por “*mais da metade de todas as emissões das mudanças climáticas*” (ROAF et al., 2009, p. 22) e o mercado da construção civil utiliza aproximadamente 40% dos recursos naturais do planeta (não renováveis) (JOURDA, 2012).

Afim de minimizar os impactos climáticos, destacam-se os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), os quais fazem parte do Protocolo Internacional da Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), ratificado por diversos países, incluindo o qual o Brasil, em que assumem o compromisso para a implantação da Agenda 2030, uma ferramenta orientadora para o desenvolvimento e planejamento de ações de políticas públicas e assim proporcionar o Desenvolvimento Sustentável, com base em 17 objetivos, conforme representado na Figura 1 (ONU, 2015).

Figura 1: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU (2015).

O desenvolvimento de projetos adequados de edificações, considerando as características climáticas do local (terreno), materiais e sistemas construtivos adequados, e seu contexto urbano (em relação ao uso e períodos de ocupação), são

fundamentais para a eficiência energética da edificação e funcionamento da cidade. Torna-se necessário uma nova forma de projetar edificações, “a necessidade de se introduzir mudanças na organização e gestão do processo projetual” (SALGADO, 2014).

Segundo dados do relatório final do Balanço Energético Nacional (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2014), o setor residencial apresentou crescimento de 6,2% no consumo final de energia comparado ao ano anterior. Somados, os setores residencial, comercial e público consomem 41,1% do total da energia produzida no Brasil, demonstrando a necessidade de soluções técnicas para frear o consumo energético nestes setores. Para fins de uso de iluminação e condicionamento de ar, edifícios públicos e comerciais, consomem em média 64% da energia elétrica total da edificação, subindo até 86% em escritórios e bancos, em locais de clima quente (CARLO, 2008). Também se destaca que o consumo energético da edificação tem como maior potencializador o sistema artificial de condicionamento térmico do ambiente, responsável por 48% em edificações públicas e comerciais, chegando a 59% do consumo de energia elétrica no setor residencial (KEELER; BURKE, 2010).

A adoção de medidas de conservação de energia é fundamental, pois permite a redução do consumo de energia necessário para propiciar um mesmo nível de energia útil e possibilita o desenvolvimento de um estilo de vida que demande menos gastos, por meio do emprego de soluções alternativas e de novas tecnologias. (NAKAMURA et al., 2013).

Destaca-se a ideia de conforto ambiental, que passa pelas ferramentas executadas para amparar as suas necessidades de adaptação climática, e a sensibilidade do usuário em relação ao ambiente construído da edificação, que segundo a NBR 16401-2 (2008) “a sensação de conforto térmico é essencialmente subjetiva”. Frota e Schiffer (2007), relatam a importância da arquitetura “servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange seu conforto térmico”, como forma de melhorar e ampliar a sua qualidade de vida e de saúde, com seu organismo tendo um funcionamento sem excesso de fadiga e estresse, atrelado a sensibilidade térmica.

Estas condições físicas do ambiente devem proporcionar ao usuário a sensação de neutralidade (CORBELLÁ; YANNAS, 2003), em relação a temperatura,

umidade relativa do ar, incidência solar e ventilação natural, índices subjetivos atrelados à sensação de conforto térmico. A NBR 16401-2 (ABNT, 2008) cita estes mesmos parâmetros para ambientes com aplicação de sistemas artificiais de climatização como “temperatura operativa, velocidade e umidade relativa do ar”, e assim definem parâmetros de medição da sensibilidade de conforto térmico.

As informações normatizadas na NBR 16401-2 (ABNT, 2008), complementam-se com as normas definidas na NBR 15220 (ABNT, 2005), onde apresenta recomendações para os elementos da envoltória da edificação, como a transmitância térmica mínima de coberturas e paredes externas para cada zona bioclimática, que caracteriza o território brasileiro em toda sua extensão, e apresenta estratégias para obtenção de conforto térmico. Define os cálculos para obtenção da resistência, capacidade e transmitância térmica de materiais e elementos construtivos e métodos de medição de condutividade térmica também são apontados na referida Norma. Segundo LAMBERTS et al. (2004), estes fatores se tornam determinantes com a seleção adequada de materiais de fechamentos opacos (alvenarias de paredes e materiais de cobertura), e os fechamentos transparentes (vidros, acrílicos e policarbonatos).

Para atender a estas questões, há um conjunto de estratégias que podem ser definidas no momento da concepção do projeto arquitetônico como a utilização adequada de iluminação natural, com análise de sua incidência conforme os períodos do ano, verão com incidência solar crítica que deve ser controlada com a utilização de “máscaras” de proteção solar (FROTA, 2004, p. 125). O ganho de calor também pode ser controlado a partir da escolha dos materiais com o qual se executa o projeto, sempre tendo como princípio a análise das características como absorvidade, refletância e transmitância térmica de cada material, para assim ocorrer a troca térmica do ambiente externo com o interno de forma adequada (SANTIAGO, 2007).

Asdrubali et al. (2015a) descreve a importância dos materiais de isolamento térmico para redução do fluxo de calor na materialidade das edificações, e principalmente, materiais isolantes com índice de condutividade térmica ( $\lambda$ ) inferior a 0,07 W/m.K. Neste aspecto, não podem ser descartados resíduos de fontes naturais, principalmente, que tenham produção local, gerando novas possibilidades econômicas para uma determinada região.

Para que se consiga a eficiência necessária para o índice de condutividade térmica ( $\lambda$ ) torna-se fundamental analisar a densidade específica dos materiais. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a condutividade térmica ( $\lambda$ ) depende da densidade do material analisado, quanto menor a densidade do material, menor é a sua condutividade. Materiais comercialmente utilizados para isolamento térmico são: 1) Lã de rocha (ou lã mineral), produzido à base de rocha liquefeita, e com baixa condutividade térmica ( $\lambda = 0,035 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ); 2) Lã de vidro, produzida pela expansão do vidro a quente, e condutividade térmica baixa ( $\lambda = 0,04 / 0,055 \text{ W/m.K}$ ); 3) Poliuretano (PU), que apresenta características adequadas para utilização na construção civil, e condutividade térmica muito baixa ( $\lambda = 0,025 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ); 4) Poliuretano Projetado ( $\lambda = 0,016 / 0,02 \text{ W/m.K}$ ); 5) Poliestirenos Expandido (EPS), um dos materiais mais utilizados para isolamento térmico ( $\lambda = 0,035 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ); e 6) Poliestirenos Extrudado (XPS) ( $\lambda = 0,035 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ) (Dutra, 2010).

Porém, a produção da matéria prima para materiais de isolamento térmico pode-se considerar o consumo energético para a fabricação. Segundo Moretti et al. (2016), em sua pesquisa de material isolante a base de Fibra de Basalto, o Consumo energético para fabricação de lã de vidro e lã de rocha, apresentam um elevado consumo energético para sua produção. Wiebeck et al. (2005) apresenta dados relacionados aos polímeros sintéticos (EPS e XPS), como sendo materiais com boa resistência ao fogo, isolantes acústicos, e não propagam fungos, porém, os poliuretanos (PU) possuem isocianatos, sendo substâncias voláteis, oferecem risco a saúde das pessoas que os inalarem.

Destaca-se também os sistemas de certificação ambiental, em que avaliam nas edificações o consumo de energia, os sistemas de conservação de energia, sistemas de utilização de águas, entre outros elementos pertinentes para a certificação de edifícios verdes, sendo as principais certificações, a britânica BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) e a americana LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) (YUN; CHO; CHAE, 2018).

Para o Brasil, no ano de 2001 foi publicada a Lei de Eficiência Energética (10295/2001), tendo como objetivo de estimular a utilização de produtos com reduzido impacto de poluição, energeticamente eficientes e orientar para os princípios de preservação ambiental com desenvolvimento tecnológico. Por fim, a lei apresenta os

níveis máximos para consumo energético (ou mínimos de eficiência energética), para máquinas e equipamentos eletrônicos e novas edificações construídas no país (BRASIL, 2001).

No ano de 2003 surge o programa Procel Edifica, desenvolvido em parceria com a Eletrobrás, Inmetro e CB3E/UFSC, objetivando o desenvolvimento e divulgando os conceitos relacionados à eficiência energética de edificações. No ano de 2013, se introduz o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), desenvolvido para fomentar a Lei de Eficiência Energética, tanto para edificações residenciais, quanto comerciais, serviços e públicas, sendo questão de grande relevância para a o mercado da construção civil sustentável (ELETROBRAS/PROCEL et al., 2013).

No programa PBE Edifica Eletrobras/Procel (2013), desenvolveram-se os métodos para determinar os níveis de eficiência energética das edificações, com base no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C), em que se identifica o nível de eficiência energética de edificações analisando suas características construtivas como: materialidade da envoltória, sistema de condicionamento artificial e sistema de iluminação (BRASIL, 2013; BRASIL, 2012).

Bavaresco et al. (2017) cita que o RTQ-R e o RTQ-C classificam as edificações analisadas de acordo com níveis (de “A” a “E”) de eficiência energética (FIGURA 2), podendo esta análise ser desenvolvida com base em dois métodos: a) Método Prescritivo: o nível de eficiência da edificação é determinado utilizando como base uma equação, atribuindo pesos e valores numéricos para cada um dos requisitos determinados pelo método; b) Método de Simulação: utiliza um programa de computador para o desenvolvimento da simulação energética de uma edificação.



- b) Pesquisar materiais naturais e inovadores para utilização como isolamento térmico em edificações;
- c) Desenvolver material para aplicação na construção civil com base na pesquisa desenvolvida e disponibilidade regional, caracterizar os materiais e indicar as propriedades relacionadas ao comportamento térmico;
- d) Aplicar material desenvolvido para isolamento térmico em protótipos, e avaliar o seu desempenho de forma comparativa a partir da coleta de dados;
- e) Simular a aplicação dos materiais de isolamento desenvolvidos em edificação pré-existente, para avaliação dos níveis de eficiência energética alcançados.

#### **1.4 Justificativa**

O interesse pelo tema surge ao se fazer uma análise de projetos de edificações em que se verificou a inabilidade de grande parte dos profissionais de projeto em fazer um aproveitamento de estratégias construtivas, conforme as características climáticas locais onde se executa um determinado projeto de edificações.

Ao se verificar as limitações projetuais quanto as questões climáticas e de materialidade - tanto de escolha como questões produtivas e desperdício (ROAF et al., 2009; JOURDA, 2012) – destaca-se que o desenvolvimento de projeto de edificações tem a possibilidade de se enquadrar em seis objetivos dos 17 apresentados na Agenda 2030 e os ODS (ONU, 2015):

*III - Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades:* a qualidade de moradia digna está diretamente relacionada à qualidade de vida e saúde das populações;

*VI - Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos:* perpassa por este objetivo a utilização adequada da água na produção de elementos construtivos, a fim de que não se tenham desperdícios no ciclo de vida de edificações;

*VII - Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos:* a escolha inadequada de materiais construtivos interfere diretamente no desempenho térmico e energético das edificações, ampliando a utilização de equipamentos de climatização artificial, estes dimensionados de forma inadequada para desempenhar tal função, onde o



empirismo tem poder de decisão final, acarretando numa baixa eficiência energética das edificações;

*VIII - Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos;*

*IX - Construir infraestruturas robustas, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação:* para o atendimento dos objetivos VIII e IX, a utilização de materiais alternativos e inovadores como matéria prima para produção de elementos construtivos, possui grande potencial de promoção de crescimento econômico e sustentável de comunidades carentes e vulneráveis, a partir do desenvolvimento de projetos sociais;

*XII - Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis:* ressalta-se que a ampla maioria dos atuais materiais de construção, sua composição e sistema produtivo são, prioritariamente, de extração de recursos naturais não renováveis, recebendo aplicação de componentes químicos com elevados índices de poluição. O desenvolvimento de pesquisas e utilização de materiais inovadores, renováveis e que possibilitem baixo consumo energético no seu ciclo de vida, proporcionam um ciclo virtuoso de produção, ao seu uso final, enquadrando-se no tripé conceitual de sustentabilidade (social, ambiental e econômico).

Com o desenvolvimento adequado de projetos, conforme os preceitos técnicos e seleção de materiais construtivos condizentes com o local da construção, torna-se possível aperfeiçoar e ampliar de forma consistente a eficiência energética das edificações. Salienta-se a necessidade do desenvolvimento de simulações computacionais para aferir os níveis de eficiência, e análise do ciclo e vida das edificações.

### **1.5 Estrutura da Tese**

O formato de tese apresentada pelo autor, baseia-se na tese apresentada por Flores (2018), conforme o formato alternativo de tese, previsto no regimento do programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD), Resolução nº 167/Reitoria/Univates (2012), especificamente no inciso III, parágrafo único do artigo 30:

Art. 30. O trabalho de conclusão do PPGAD constitui-se em dissertação, para alunos do Mestrado, e em tese, para alunos do Doutorado, sendo de responsabilidade individual do aluno e resultado de projeto executado sob a orientação do professor orientador, conforme define esse regimento. Parágrafo único. A forma da redação pode ser: [...] III - uma forma alternativa composta de: título; resumo e abstract; apresentação; dois artigos publicados ou aceitos para publicação, como primeiro autor, em revista qualis superior ou igual a B1 na área Ciências Ambientais da Capes, referentes à pesquisa desenvolvida durante a orientação do curso de Doutorado; discussão geral; conclusões e referências, para o Doutorado. (UNIVATES, 2012, p. 9).

Com base na normativa, a tese contempla o regimento interno apresentando os componentes: (a) título; (b) resumo e abstract; (c) apresentação; (d) sete artigos científicos referentes à pesquisa, estes desenvolvidos durante o período de orientação do curso de Doutorado (um artigo publicado como primeiro autor em revista com *Qualis* A2 na área de Ciências Ambientais, um artigo publicado como primeiro autor em revista com *Qualis* B1 na área de Ciências Ambientais, um artigo aceito para publicação como primeiro autor em revista com *Qualis* B1 na área de Ciências Ambientais, um artigo em avaliação como primeiro autor em revista com *Qualis* B1 na área de Ciências Ambientais, um artigo em avaliação como primeiro autor em revista com *Qualis* C na área de Ciências Ambientais, um artigo aprovado como primeiro autor no evento Simpósio Mundial de Sustentabilidade, Conferência Internacional BRIDGE 2019, e um artigo submetido como primeiro autor em revista com *Qualis* B1 na área de Ciências Ambientais); (e) discussão geral; (f) conclusões; e (g) referências.

Segundo Burrough-Boenisch (2016) e Nassi-Calò (2016), o formato alternativo permite ao autor desenvolver a pesquisa no formato de artigos científicos, e compilá-los na apresentação final da tese de doutoramento. Frank (2013) detalha três formatos para compilação de artigos científicos na apresentação de tese, sendo: i) artigos horizontais, em todos artigos partem da abordagem do mesmo problema, porém com perspectivas diferentes; ii) artigos verticais, em que cada artigo atende um objetivo específico da tese, assim, obtendo resultados intermediários, onde ao final se atende o objetivo geral; e iii) estrutura mista, a combinação das abordagens horizontal e vertical.

Assim, o autor optou pela estruturação do trabalho a partir de abordagem

vertical. A Figura 3 representa a estrutura dos artigos desenvolvidos durante o período da tese, apresentando a identificação dos periódicos, a situação da submissão dos manuscritos e o respectivo *Qualis* (Avaliação da CAPES de Ciências Ambientais).

Figura 3: Estrutura da tese em artigos verticais.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ESTRUTURA TESE	ARTIGOS	PERIÓDICO (QUALIS: CIÊNCIAS AMBIENTAIS / FATOR DE IMPACTO)	STATUS
1) Analisar dados climáticos da cidade de Lajeado/RS, e desenvolver a carta bioclimática (TRY) e determinar as estratégias construtivas adequadas para aplicação em projetos de edificações;	ARTIGO 1	BIOCLIMATIC STRATEGIES FOR THE CITY OF LAJEADO/RS-BRAZIL, USING DATA ANALYSIS OF REGIONAL CLIMATE.	REVISTA BRASILEIRA DE CLIMATOLOGIA (A2).	PUBLICADO
2) Pesquisar materiais naturais e inovadores para utilização como isolamento térmico para edificações;	ARTIGO 2	REVISÃO: ESTUDO DE MATERIAIS NATURAIS PARA APLICAÇÃO EM ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES.	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS (B1).	PUBLICADO
3) Desenvolver material para aplicação na construção civil com base na pesquisa desenvolvida e disponibilidade regional, caracterizar os materiais e indicar as propriedades relacionadas ao comportamento térmico;	ARTIGO 3	DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PHYSICAL PROPERTIES OF NATURAL AND INNOVATIVE MATERIALS.	ADVANCED MATERIALS RESEARCH (F.I. 0,87).	ACEITO
4) Aplicar material desenvolvido para isolamento térmico em protótipos, e avaliar o seu desempenho de forma comparativa a partir da coleta de dados;	ARTIGO 4	ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS: REDUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES PARA ZONA BIOCLIMÁTICA DOIS.	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE (B1).	PUBLICADO
	ARTIGO 5	DEVELOPMENT OF NATURAL AND INNOVATIVE MATERIAL FOR APPLICATION AS THERMAL INSULATION IN BUILDINGS.	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE (B1).	EM AVALIAÇÃO
	ARTIGO 6	ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS COM UTILIZAÇÃO DE ELEMENTO VEGETAL.	SIMPÓSIO MUNDIAL DE SUSTENTABILIDADE, CONFERÊNCIA INTERNACIONAL BRIDGE 2019.	PUBLICADO
5) Simular a aplicação dos materiais de isolamento desenvolvidos em edificação pré-existente, para avaliação dos níveis de eficiência energética alcançados.	ARTIGO 7	ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE INVOLVEMENT OF AN EDUCATIONAL BUILDING USING THE PRESCRIPTION METHOD (RTQ-C).	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT (B1).	EM AVALIAÇÃO
<b>OBJETIVO GERAL</b>  Desenvolver novos materiais de construção para isolamento térmico, com capacidade de aplicação em alvenarias, caracterizar e analisar de forma comparativa e aplicada em protótipos, simulando a eficiência energética das propostas.				

## 1.6 Capítulos Estruturais da Tese

O estudo doutoral se fundamenta na tese apresentada em sete capítulos, sendo estes:

### 1º Capítulo: apresentação

O primeiro capítulo, “apresentação”, está em duas partes. A primeira parte, a introdução, apresenta o tema, problema, objetivos e a justificativa da pesquisa. A segunda parte apresenta a estrutura da tese, esta desenvolvida a partir de artigos verticais, desenvolvidos em sete etapas, apresentados nos capítulos em sequência.

## 2º Capítulo: primeiro artigo (SPINELLI et al., 2017)

O primeiro artigo desenvolvido para a tese estrutura o segundo capítulo. O estudo desenvolveu a carta bioclimática para o município de Lajeado/RS, para assim determinar as estratégias construtivas adequadas para o clima local, conforme a classificação disponibilizada na NBR 15220 (2005) e NBR 15575 (2013), segundo o zoneamento bioclimático do Brasil. Foram utilizados dados climáticos coletados no período de 11 anos (2004-2015), disponibilizados pelo Núcleo de Informações Hidrometeorológicas (NIH) da Univates.

## 3º Capítulo: segundo artigo (SPINELLI et al., 2018a)

O segundo artigo, apresentado no capítulo três, desenvolveu-se através de uma pesquisa bibliométrica de elementos naturais e inovadores que apresentem a possibilidade de utilização como matéria prima para o desenvolvimento de material construtivo para aplicação como isolamento térmico. É utilizado como referência para a classificação do material o índice de condutividade térmica ( $\lambda$ ), em que este deve ser inferior a 0,07 W/m.K.

## 4º Capítulo: terceiro artigo (SPINELLI et al., 2019a)

No capítulo quatro é apresentado o terceiro artigo, em que se desenvolve o estudo para caracterização de materiais naturais e inovadores. Para tal, apresenta o desenvolvimento de um aparato similar ao apresentado na NBR 15220 (2005), determinando condutividade térmica ( $\lambda$ ) e as respectivas densidades dos materiais pesquisados. A fim de comprovar os dados pesquisados, foi analisada a composição dos materiais a partir da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

## 5º Capítulo: quarto artigo (SPINELLI et al., 2018b)

O quarto artigo desenvolvido tem seus resultados apresentados no capítulo cinco, e o estudo apresenta uma análise comparativa de materialidades aplicadas em protótipos, a fim de avaliar o desempenho térmico. No protótipo um é analisado a envoltória sem aplicação de nenhum sistema de isolamento térmico. Já no protótipo dois aplicou-se um sistema de isolamento térmico aplicado na face externa da

edificação com material convencional, o isopor (EPS).

#### 6º Capítulo: quinto artigo (SPINELLI et al., 2019b)

O capítulo seis apresenta os resultados obtidos no estudo desenvolvido no quinto artigo para a tese. Analisa de forma comparativa os dados obtidos de forma comparativa a partir da aplicação de material para isolamento térmico de fachadas desenvolvido por material natural (sabugo de milho) e inovador (vácuo). Ambos materiais foram aplicados em protótipos e os dados coletados comparados com protótipos nos quais não tinham aplicação de isolamento térmico nas alvenarias.

#### 7º Capítulo: sexto artigo (SPINELLI et al., 2019c)

Os resultados obtidos no sexto artigo compõe o capítulo sete da tese, em que apresenta os dados do experimento desenvolvido com a utilização em protótipos da Casca de Pinus, no desenvolvimento de placas de isolamento térmico. Para este caso, os dados obtidos foram comparados com os resultados do quarto artigo, em que o material utilizado no experimento é de produção tradicional.

#### 8º Capítulo: sétimo artigo (SPINELLI et al., 2019d)

O oitavo capítulo apresenta os resultados obtidos a partir do desenvolvimento da Simulação desenvolvida pelo método prescritivo do Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RQT-C). A metodologia foi aplicada em uma edificação educacional, na cidade de Lajeado, e para a simulação foram aplicados os dados obtidos nos seis artigos apresentados nos capítulos anteriores da tese.

#### 9º Capítulo: discussão geral

Para compilar a análise completa dos artigos, o nono capítulo apresenta a 'discussão geral', apresentando de forma integrada e destacando a conexão dos resultados obtidos nos artigos (SPINELLI et al., 2017; 2018a; 2019a; 2018b; 2019b; 2019c; 2019d).

#### 10º Capítulo: conclusões

Finalizando a tese, o décimo capítulo aborda as conclusões, em que se destaca

os resultados obtidos nas análises dos artigos, evidenciando as considerações finais do autor, relacionadas ao tema central da pesquisa desenvolvido para o estudo.

## 2 PRIMEIRO ARTIGO

### ***BIOCLIMATIC STRATEGIES FOR THE CITY OF LAJEADO/RS-BRAZIL, USING DATA ANALYSIS OF REGIONAL CLIMATE***

SPINELLI, R.; KONRAD, Odorico; CAMBEIRO, F. P.; AHLERT, Edson; SPINELLI, F. B.; QUADROS, E. A. Bioclimatic Strategies for The City of Lajeado/RS-Brazil, Using Data Analysis of Regional Climate. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba, v. 21, n. 2, p. 153-171. jul./dez. 2017.

Artigo publicado na Revista Brasileira de Climatologia – ISSN 2237-8642. O periódico possui estrato superior *Qualis A2* em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

**BIOCLIMATIC STRATEGIES FOR THE CITY OF LAJEADO/RS-BRAZIL,  
USING DATA ANALYSIS OF REGIONAL CLIMATE**

SPINELLI, Rodrigo - rspinelli@univates.br  
Universidade do Vale do Taquari/UNIVATES

KONRAD, Odorico - okonrad@univates.br  
Universidade do Vale do Taquari/UNIVATES

CAMBEIRO, Faustino Patiño - faustinopc@gmail.com  
Universidade de Vigo/Espanha

AHLERT, Edson - edsonahlert@univates.br  
Universidade do Vale do Taquari/UNIVATES

SPINELLI, Fabiana Braun - fabib74@gmail.com  
Bacharel Arquitetura e Urbanismo/UNISINOS

QUADROS, Eric Augusto - equadros1@universo.univates.br  
Universidade do Vale do Taquari/UNIVATES

---

**ABSTRACT:** The city of Lajeado is located at the Vale do Taquari region, 120 km away from Porto Alegre, the capital of Rio Grande do Sul (RS) state, Brazil. Locally, the civil construction industry has grown 517.7% between the years of 1991 and 2011. Basic information concerning the choice of materials suitable to the climate, and early studies focused on the research of natural ventilation, are denied in the development of projects of buildings. Bioclimatic Charts are being developed for Brazil, in which architectural strategies can be determined for application in building project design. The study here shown is about acquisition of climate data for the city of Lajeado in southern of Brazil, during the period of 2004 to 2015, including data processing and analysis using BioEstat statistic software and data plotting to the bioclimatic chart with the use of the Sol-ar software. The results show how building design strategies like passive solar heating and thermal inertia, as well as an adequate application of construction materials, must be used more, as to working with thermal isolation in cold and hot days.

**Keywords:** Bioclimatology; Bioclimatic Charts; Wind Charts; Architectonic Strategies; Energy Efficiency;

*ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA A CIDADE DE LAJEADO/RS-BRASIL, A PARTIR DA ANÁLISE DE DADOS CLIMÁTICOS REGIONAIS*

**RESUMO:** A cidade de Lajeado/RS-Brasil está localizada no Vale do Taquari, distante a 120 quilômetros de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul (RS). Localmente, o setor da construção civil apresentou um crescimento de 517,7% entre os anos de 1991 e 2011. Informações básicas relacionadas a escolha de materialidade adequada ao clima, e estudos iniciais voltados a pesquisa de ventilação natural, são negados no desenvolvimento de projetos de edificações. Para o Brasil, se trabalha com o desenvolvimento da Carta Bioclimática, em que se definem estratégias arquitetônicas a serem aplicadas no desenvolvimento de projetos. O estudo apresentado neste artigo, faz o levantamento de dados climáticos para a cidade de Lajeado/RS-Brasil no período de 2004 a 2015, em que foram planilhados, analisa no software estatísticos BioEstat, e com a utilização do software Sol-ar, plotados na Carta Bioclimática. Os resultados apresentam como estratégias que devem ser mais utilizadas nas edificações, o aquecimento solar passivo, e a estratégia de inércia térmica, aplicando de forma adequada os materiais, para se trabalhar com isolamento térmico, tanto para dias frios e quentes.



**Palavras-chaves:** Bioclimatologia; Carta Bioclimática; Carta de Ventos; Estratégias Arquitetônicas; Eficiência Energética;

---

## **1. INTRODUCTION**

The energy crisis triggered in the early 1970s has shown a reality in which it has become fundamental to work with architectural strategies, which are targeted to minimize the energy consume and indicate rationalization of comfort methods and strategies for the use of natural resources (SPINELLI; ALVES; KONRAD, 2013).

The climatic alerts were intensified "with the foundation of the Club of Rome and the conference of Stockholm in Sweden in 1972, where amongst other environmental themes, the concept of sustainable development was presented, advocating for the moderate use of natural resources as being finite, as well as to be concerned in terms of the susceptibility of some natural environments" (MUNIZ; CARACRISTI, 2015).

From the execution phase to the period of use of buildings, the impacts of buildings to the natural environment regarding CO<sub>2</sub> emissions are responsible for "more than half of all emissions causing climatic change" (ROAF et al., 2009, p. 22). Other alarming data point out that the civil engineering market uses approximately 40% of the non-renewable natural resources of the planet (JOURDA, 2012).

The Directive 2002/91/EC of the European Parliament and Council, concerning on the Energy Performance of Buildings (2002), determined that the construction materials have to be used in a rational way, thus, the buildings must be energetically efficient as to minimize the emission of global warming gases. The article 8 determines as follows: "The Directive 89/106/EEC of the Council from December 21, 1988, determines the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to the construction products, which requires that the construction works and their heating, cooling and ventilation installations must be designed and built in such a way that the amount of energy required in use shall be low, when considered the location climatic conditions and occupants".

In November 2016 the Paris Agreement will come into force with the aim of considerably reducing the emission of greenhouse gases, to limit the expansion of the average global warming which has raised to alarming levels (ONU; 2016). According to the UN, "2015 was the hottest year of the modern world and in the first six months of 2016, until now, all previous records were broken".

This leads to an observation of the human being among nature, analyzing its disconnection to the natural environment, in which, one see itself disconnected (capitalistic thinking, where one is only an exploiter), entailing one to recognize that a connection of the non-human nature to the human being, in a philosophic perspective, bring man to bethink his place and that of all living creatures in nature (SOFFIATI, 2008).

In this context, the sensibility for thermal comfort and the search for the best way to conform it to the use of buildings, pointing to the physical well-

being has become more frequent in the last decades (LAMBERTS; XAVIER, 2003).

Ascenso (2015) presented a strategy developed by the European Union. Until the year 2020, all new buildings shall be energetically efficient, showing an energy balance of nearly zero, by consuming the same energy quantity it is capable to produce, imposing for every member state to develop the best method to achieve these aims and present them as a fundamental factor for climatic adaptation of buildings.

At the Third International Conference on Sustainable Future for Human Security (SUSTAIN 2012), which took place in Kyoto, Larasati ZR (2013) describes how the user comfort is fundamental as a parameter for the bioclimatic project, along with project parameters as: 1) use of landscape elements (plants, water, and so on); 2) construction according to solar orientation; 3) adequacy of the construction materials; 4) formal composition of the appropriate project; 5) project with solar protection; and 6) design of windows and facades for exploitation of natural ventilation. With these strategies, it is possible to consider a building low cost operation and maintenance.

According to the ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers), one definition of thermal comfort is: "the condition of mind, that reflects satisfaction of the individual with the thermal environment in which one is located", when the human person feels itself in a state of neutrality in relation to its environment (ASHRAE Standard 55, 1992 in ASHRAE, 2001).

The absence of neutrality in environmental comfort sensibility causes a drop in performance of work, physical, cognitive and learning activities, influenced by variations of the environmental temperature (BATIZ et al., 2009).

### **1.1. BIOCLIMATOLOGY**

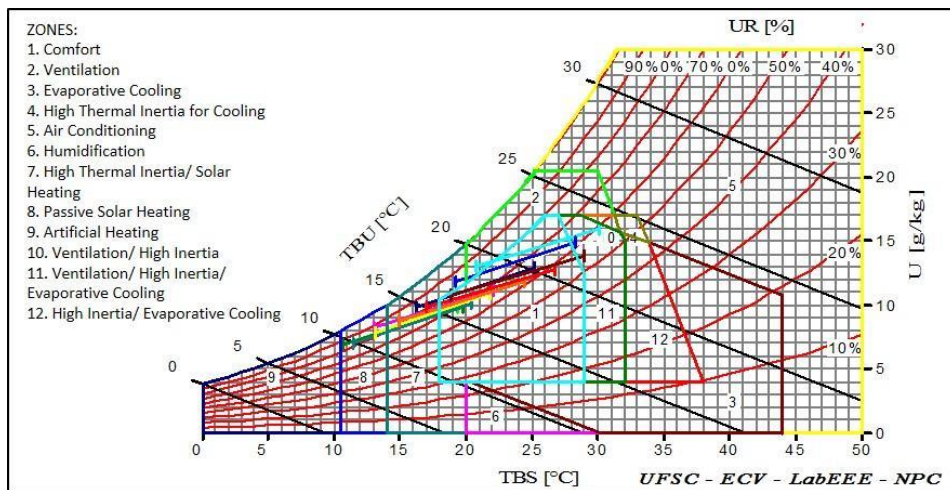
According to Olgyay (1968), bioclimatology is the application of climate-related studies to all living beings. The application of these studies to architecture results the concept of the bioclimatic project, seeking to adjust the architectural project to local climatic conditions as to achieve thermal comfort conditions (in LAMBERTS et al., 2013, p. 84). The developed Bioclimatic Chart of Olgyay relates the temperature variation (°C) and relative humidity of the air (%) to the sensibility comfort.

The studies of Givoni (1969) realized with projects in Israel, USA and Europe, in which the expectations of the intern temperature for the buildings were considered without the use of any air conditioning system; improved the chart of Olgyay and linked the bioclimatic chart to the application of building project strategies.

Thus, the most suitable bioclimatic strategies to a determined location can be represented in format of a bioclimatic chart (GIVONI, 1992), in which temperature data of dry and wet bulb, absolute humidity and relative humidity are plotted to a psychrometric chart (also known as Test Reference Year Chart – TRY).

In Brazil, the NBR 15220-3 (ABNT, 2005) shows recommendations for building coating elements, like maximal thermal transmittance of roofs and extern walls according to the definition of eight bioclimatic zones, which cover the whole Brazilian territory, presenting more extensive strategies for the obtainment of thermal comfort, but not acting specifically matching the climate of a certain place.

In his study, Bogo (1994) shows the Bioclimatic Chart for Brazil, including nine main comfort zones, related to more adequate building strategies to Brazilian climate circumstances (in LAMBERTS et al., 2013, p. 85), according to the Bioclimatic Chart shown in Picture 1. According to Lamberts et al. (2013) the comfort zones 7, 10, 11 and 12 are cited as "Strategy Intersection Zones"; for these cases, the overlapping strategies can be utilized separately or concurrently.



**Picture 1** – Bioclimatic Chart for the city of Porto Alegre/RS-Brazil. Source: Software Analysis Bio 2.2, LabEEE – UFSC.

Relating to the data analysis for development of building energy simulation, Bhandari et al. (2012) describes, that "it would be ideal measuring meteorology data at the buildings site to capture relevant variations of the microclimate, but this is generally considered as a prohibitive cost", indicating thus to appropriate the necessary parameters for a development of the bioclimatic chart.

In a study, undertaken for the city of Caraguatatuba/SP, Brito and Cabral (2008) used data of the National Institute for Meteorology (INMET) from the period of 1998 to 2006, generating the bioclimatic charts for each year and, in doing so, developed a comparative analysis. As the result, Brito and Cabral verified an inadequacy of the local architecture and construction materials and indicated the use of comfort strategies which are cited to be adequate to the local climate. It was mentioned that for the buildings it was used air conditioning systems over a long annual period in an inadequate way, whereas this strategy in bioclimatic charts is pointed out just for 5% possibility of utilization in buildings, causing an elevated energy consume.

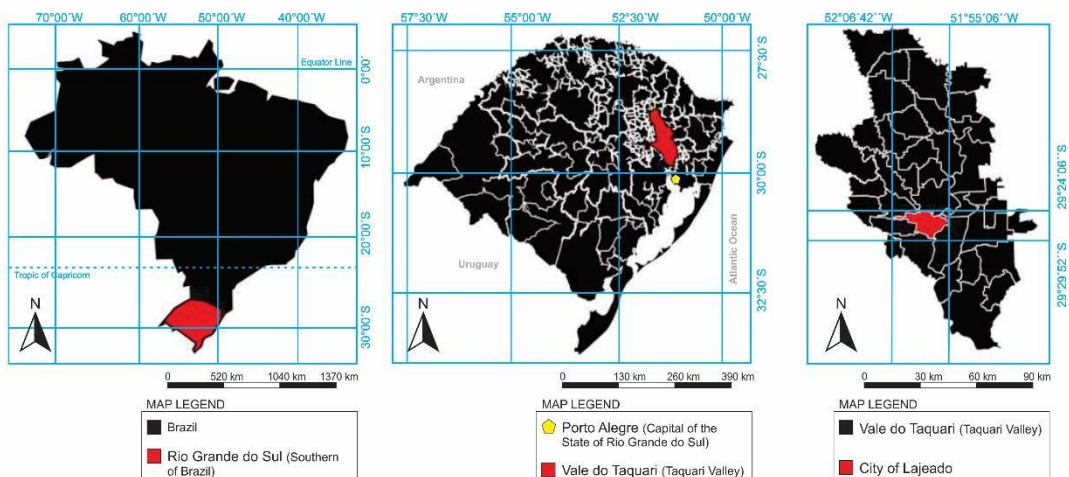
Grigoletti et al. (2016) realized an additional study completing the existing Bioclimatic Chart for the city of Santa Maria/RS, generated with data of an eight-year period and revised it for a twelve-year period, ab initio of registered data obtained from the weather station of Santa Maria Air Base (Base Aérea de Santa Maria, BASM), and registered by INMET. The study highlights that in the developed revision, remained a predominance of presented strategies of the original Bioclimatic Chart.

The natural ventilation strategy is one of the constructive strategies in the bioclimatic chart (Zone 2). Lamberts et al. (2013) describes that the use of natural ventilation resource can be presented with the help of the "wind rose", in which will be plotted the data of predominant orientation (%) and average wind speed (m/s). Thus, the analysis through the chart designer enables the selection for the best orientation and localization of the vents and openings, or specific elements for the capture of fresh breezes in the summer period or protection from colder winds in the winter period.

## 1.2. CITY OF LAJEADO/RS-BRAZIL

The city of Lajeado is located at the Vale do Taquari region, 120 km away from Porto Alegre, the capital of Rio Grande do Sul (RS) state, Brazil, as shown in Picture 2 (FEIL, 2009). Two of the municipal borders are contoured by Rio Forqueta (to the north), and Rio Taquari (to the east), both belonging to the Taquari-Antasm Hydrographic Basin, with a high water volume.

According to PML (2016) information, the local climate is classed as subtropical. Regarding geomorphology, the municipality is located at the "Geomorphological Araucárias Plateau Region (Serra Geral topography unit and Heights of Serra Geral topography unit)", with an average altitude of 65m (PML, 2016), in the transition range of morphological units called Depressão Central (altitudes close to 0) and the Northern Rio-Grandense Plateau (altitudes higher than 200 m). Ao norte do município, a media de altitude amplia-se a 800m.



**Picture 2** - Localization of the State Rio Grande do Sul in Brazil, of Vale do Taquari in the state Rio Grande do Sul, and the municipal area of Lajeado in Vale of Taquari.

With a regard to buildings, the civil construction sector denoted an expansion of 517.7% between 1991 and 2011, according to data of the City Hall of Lajeado (Prefeitura Municipal de Lajeado, PML). This data highlight the strength of this sector within the local economy and underline the importance of the elaboration of designed building projects based on the analysis of local climatic data; a situation that not takes place. Basic information, like presented in NBR 15220-3, regarding the choice of adequate materials to the climate and initial studies concerning the natural ventilation research are denied in the development of these projects. The utilized standard materials in masonry is the massive ceramic brick with slabs made of a concrete and ceramics mixture, showing an elevated thermal transmittance value (U) for the local climate (NBR 15220-3; 2005).

For the region where the city of Lajeado is located, Tomasini (2011) analyzed the wind patterns within the period covering the years 2003 to 2010, using collected data from the meteorological station of the Hydrometeorological Information Center (Centro de Informação Hidrometeorológicas, CIH), localized at Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, and plotting the percentages to the wind rose, which resulted in a predominance of the winds NNW with 13.79% occurrence, ESE with 11.28%, and NNE with 11.03%.

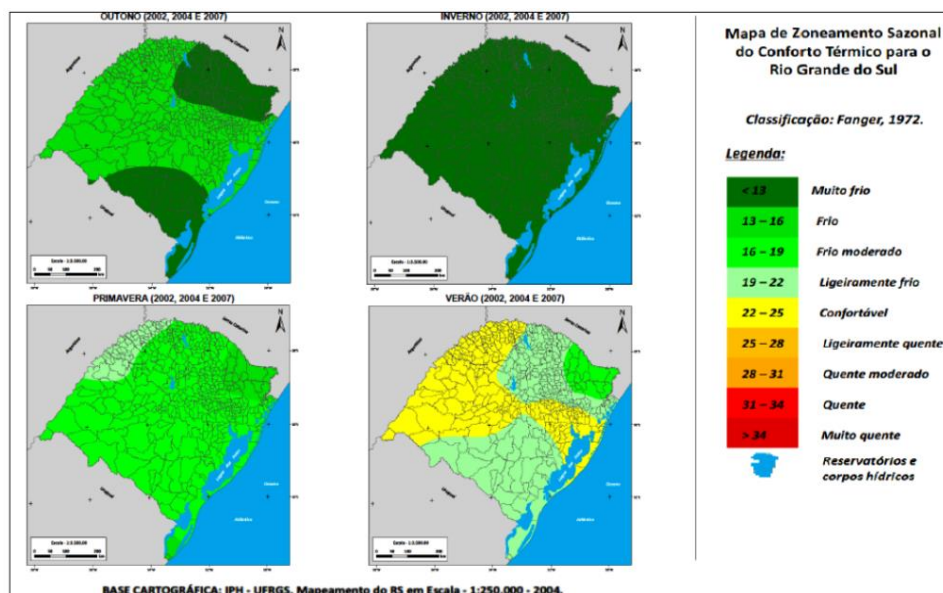
The research data of Tomasini (2011) matches the data presented by the Wind Atlas of Rio Grande do Sul (2014), with resulting predominant wind directions for the region of the city Lajeado; with a predominance of directions NNE, N, LSE, SE and SSE. However, it should be noted that the studies from Tomasini and Wind Atlas do not indicate predominance percentages as well as develop any qualification of data in accordance to weather stations, and therefore limiting the use of the data by project planners.

Developing building design projects solely with information of natural ventilation would not lead to sufficient results regarding the thermal comfort and energy efficiency. Locally, a large number of developed projects do not take into account the regional climatic characteristics as much as materials definitions and elements, which allows a significant reduction of artificial conditioning system elements, widely used in annual periods with intense heat.

The studies carried out by Bhandari et al. (2012), Brito and Cabral (2008) and Grigoletti et al. (2016) support the need, for the city of Lajeado, of a development of tools to analyze constructive alternatives regarding the local climate, showing options for a more efficient construction of buildings.

A study developed by Gobo et al. (2015), analyzed data on urban level scale, based on the Methodology of Standard Years to determine the zoning of human thermal comfort to the state of Rio Grande do Sul, taking as basis the years 2002, 2004 and 2007. Shall be noted that for autumn and winter periods, the regional atmospheric dynamics is crucial to the uniformity comfort sensitivity (temperatures lower than the 13° C average– characterized as very cold), which covers the entire State (Picture 3).

During spring and summer, the distribution of thermal sensation tracks are related to the possible influence of climate controls, such as altitude, continentality, the maritime dimension and latitude of Rio Grande do Sul different regions.



**Picture 3** - Seasonal Zoning of thermal comfort for the Rio Grande do Sul. Source: GOBO et al. (2015, p. 467).

### 1.3. OBJECTIVE

The objective of this study is to perform a climatic data collection for the municipality of Lajeado in the period of 2004 to 2015, and to plot this data into the Bioclimatic Chart for Brazil. Furthermore, it will be made a data revision and qualification of the charts into climatic seasons including predominant wind speed and direction. Based on this information it will be possible to verify architectonic strategies that are more adequate for the adaption of projects to the local climate, allowing the energy efficiency analysis of buildings.

## 2. METHODOLOGY

For the development of the study, the whole data were collected at the CIH, sampled by the weather station at the campus of the Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES - Lajeado, whose geographic coordinates are latitude 29°29'13"S and longitude 51°59'50"W, with an altitude of 85 meters. The utilized weather station model is a wireless Vantage Pro 2, manufactured by Davis Instruments. It was measured the temperature, relative air humidity, atmospheric pressure, wind speed and direction (km/h), recording the data all the days during the duration of the project with intervals of 30 minutes (from 0:00 to 0:30 a.m., 1:00 to 1:30 a.m., and so on, thus completing 24h).

### 2.1. DATA ANALYSIS

All the collected data were tabulated into an electronic spreadsheet, giving the data for a minimum and maximum temperature range, the average temperature, and percentage for relative air humidity and atmospheric pressure initially for each day of the year, with the aid of pivot table data, which permits grouping and evaluation of the information. Subsequently, the monthly averages

were calculated for every year, finalizing with calculation of the monthly averages of the analysis period, as presented in Table 1.

**Table 1** - Climatic Data: monthly averages for the period (2004-2015).

	<b>AV.MAX. TEMP. (°C)</b>	<b>AV.MIN. TEMP. (°C)</b>	<b>AV. TEMP. (°C)</b>	<b>AV. HUMID. (%)</b>	<b>AV. PRESSURE (hPa)</b>
<b>JAN</b>	31.30	20.58	25.17	74.86	1008.70
<b>FEB</b>	31.20	20.83	25.01	75.06	1009.42
<b>MAR</b>	28.63	19.07	23.15	78.37	1011.22
<b>APR</b>	25.95	16.68	20.64	80.87	1013.34
<b>MAY</b>	21.73	13.63	17.64	84.01	1015.65
<b>JUN</b>	19.58	11.78	15.17	84.58	1016.72
<b>JUL</b>	19.23	10.31	14.41	81.37	1017.18
<b>AUG</b>	21.67	12.16	16.35	77.99	1016.11
<b>SEP</b>	22.68	13.70	17.42	78.84	1014.83
<b>OCT</b>	25.18	15.72	19.92	74.91	1011.80
<b>NOV</b>	27.91	17.47	22.31	73.92	1009.83
<b>DEC</b>	30.33	19.56	24.21	73.68	1008.31

Source: the authors.

To confirm the significance of the monthly averages, every entry was analyzed using the statistical analysis software BioEstat<sup>1</sup> (AYRES; 2007). Initially the monthly maximal average temperatures of the analyzed period (2004-2015) were inserted, and the statistical method for an Analysis of Variance (ANOVA) were applied with the criteria that the results present no significant variation (p less than one), referred to as calculated averages. Subsequently, the average minimum temperature, temperature, relative humidity and atmospheric pressure were treated as described above and the results obtained with the statistical analysis software was also applied with the same criteria as mentioned above.

To analyze the tabulated data for natural ventilation (direction and speed), an equation to count the number of incidences, where the wind occurred at a determined orientation (north, west, east, south, and so on) was applied, and also a separation of the enumeration for incidence by climatic seasons (summer, autumn, spring and winter) to boost the results of the wind chart. Then, the data for average wind speed separated by direction and climatic season was also developed applying the same procedure.

The obtained wind data was furthermore analyzed using the BioEstat software to develop the statistical analysis with application of Analysis of Variance with the criteria, which does not permit significant variation. With the validation of the data, the percentage of the average incidence of predominant

<sup>1</sup> "BioEstat is especially aimed at graduation and post-graduation students, who can learn the basic concepts of statistics with it. The bundle of software is facilitated by the application itself and its instruction manual where the choice of an adequate test can be done in a practical way, according to the nature of data, number of samples and type of experimentation" (AYRES; 2007).



direction and average velocity (km/h) for the studied period was developed, enabling the generation of the guiding graphs.

By concluding the data analysis of the temperatures, humidity and atmospheric pressure averages (along information of altitude, latitude and longitude), the software Analysis Bio <sup>2</sup>(LabEEE; 2010), which was developed by the Laboratory for Energy Efficiency in Buildings (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, LabEEE) at the Federal University of Santa Catarina (Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC), was used, enabling the development of the Bioclimatic Chart and presentation of the detailed analysis report, describing the percentages of monthly used strategies in an interval of one year, as seen on Picture 4.

Cidade:  
Lajeado

VAR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	31,30	31,20	28,63	25,95	21,73	19,58	19,23	21,67	22,68	25,18	27,91	30,33
2	20,58	20,83	19,07	16,68	13,63	11,78	10,31	12,16	13,70	15,72	17,47	19,56
3	25,17	25,01	23,15	20,64	17,64	15,17	14,41	16,35	17,42	19,92	22,31	24,21
4	74,86	75,06	78,37	80,87	84,01	84,58	81,37	77,99	78,84	74,91	73,92	73,68
5	1008,7	1009,4	1011,2	1013,3	1015,6	1016,7	1017,1	1016,1	1014,8	1011,8	1009,8	1008,3

Variáveis:  
 1. Temperaturas Médias Máximas[ °C ]  
 2. Temperaturas Médias Mínimas[ °C ]  
 3. Temperaturas Médias[ °C ]  
 4. Umidades Relativas Médias[ %]  
 5. Pressões Barométricas[ hPa ]

OK

**Picture 4** - Software Analysis Bio inserted data.

Climate data: maximum and average absolute minimum temperature for the monthly period (2004-2015). After the scoring and insertion of the data developed with monthly averages in software Analysis Bio, the absolute maximum and minimum monthly averages of temperature data were analyzed (keeping temperature average, percentage of relative humidity and pressure atmospheric), as shown in table 2. When completing the page, the data were inserted on the software Analysis Bio, generating a second Bioclimatic Chart for analysis..

<sup>2</sup> "The main objective of the software is directed to rapidly and clearly provide ways of analyzing bioclimatic strategies for building design projects (Analysis - Bio) ... These analyses are targeted to thermal comfort for the buildings residents, together with optimization of the energy efficiency. The target group for the software are graduation and post-graduation students, engineering and architecture professionals and researchers working in the field of environmental comfort and energy efficiency in buildings" (LabEEE, 2010).



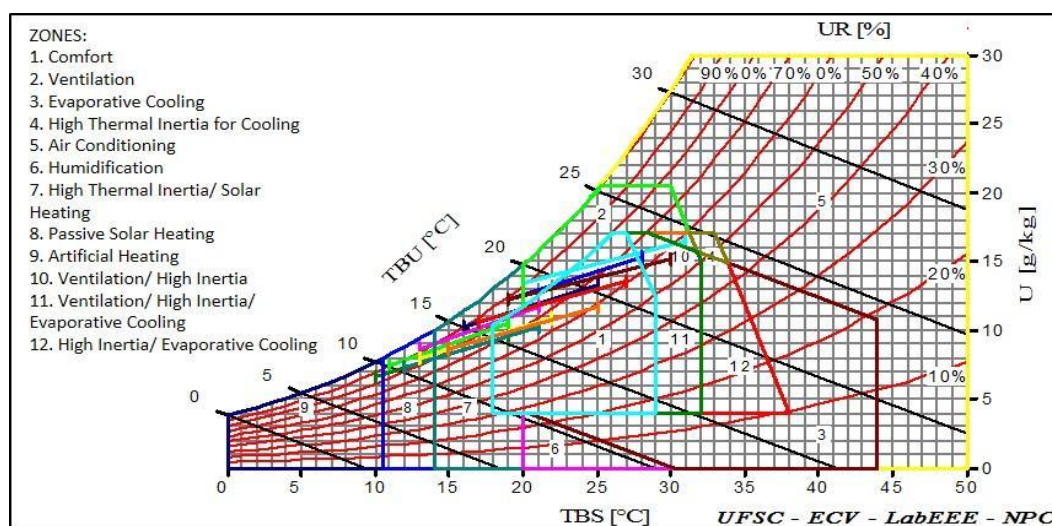
**Table 2** - Climate data: maximum and average absolute minimum temperature for the monthly period (2004-2015).

	AV.AB. MAX.TEMP (°C)	AV.AB. MIN.TEMP. (°C)	AV. TEMP. (°C)	AV. HUMID. (%)	AV. PRESSURE (hPa)
<b>JAN</b>	33.60	18.70	25.17	74.86	1008.70
<b>FEB</b>	33.80	18.40	25.01	75.06	1009.42
<b>MAR</b>	30.40	16.90	23.15	78.37	1011.22
<b>APR</b>	29.05	15.25	20.64	80.87	1013.34
<b>MAY</b>	24.80	11.40	17.64	84.01	1015.65
<b>JUN</b>	22.50	9.10	15.17	84.58	1016.72
<b>JUL</b>	22.80	5.85	14.41	81.37	1017.18
<b>AUG</b>	27.60	8.90	16.35	77.99	1016.11
<b>SEP</b>	26.25	11.10	17.42	78.84	1014.83
<b>OCT</b>	27.90	13.30	19.92	74.91	1011.80
<b>NOV</b>	29.90	14.50	22.31	73.92	1009.83
<b>DEC</b>	32.30	17.90	24.21	73.68	1008.31

### 3. RESULTS

#### 3.1. BIOCLIMATIC CHART FOR LAJEADO/RS, FROM MONTHLY AVERAGE TEMPERATURES.

The outcoming results from the data development process by the software was used to generate the Bioclimatic Chart for the city of Lajeado, as shown in Picture 5. It can be visually identified the application of defined strategies in the zones 1, 2, 7, 8, 9, 10 and 11.



**Picture 5** - Bioclimatic Chart for the city of Lajeado/RS (Annual Average).

Hence, the data presented in the detailed report was transferred to the spreadsheet, shown in Table 3. For a better understanding, the data was expressed in percentage as number of days within each month, taking a sum of all relating values for each strategy. Totaling up the values resulted in the number of days (percent) each strategy should be used within the period of one year.

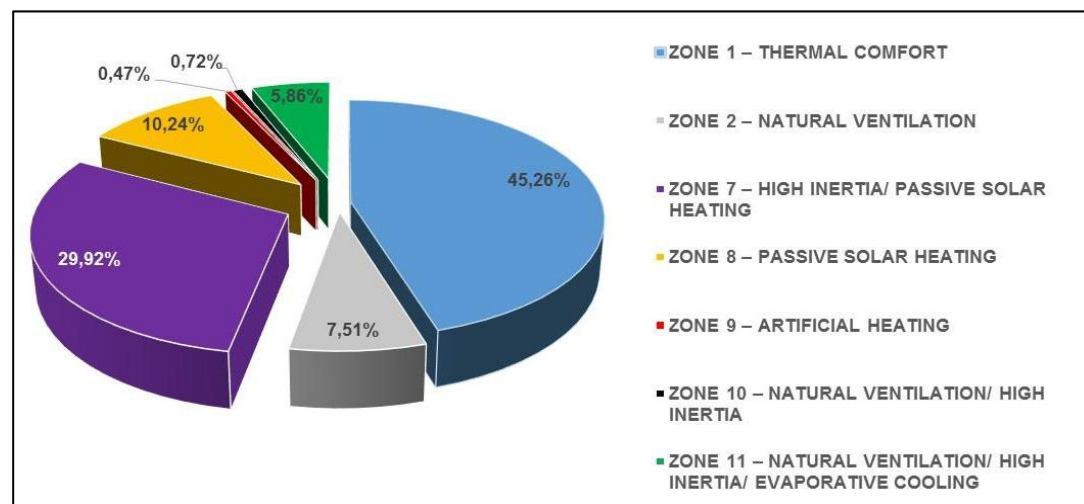
**Table 3** - Monthly Bioclimatic Strategies for the city of Lajeado (Annual Average).

	ZONE 1	ZONE 2	ZONE 7	ZONE 8	ZONE 9	ZONE 10	ZONE 11
<b>JAN</b>	43.96%	26.37%				2.91%	26.78%
<b>FEB</b>	40.15%	29.44%				5.62%	24.80%
<b>MAR</b>	64.73%	21.98%	11.12%				2.17%
<b>APR</b>	60.22%		39.78%				
<b>MAY</b>	28.05%		59.45%	12.51%			
<b>JUN</b>	12.49%		50.01%	37.50%			
<b>JUL</b>	11.12%		44.44%	38.89%	5.56%		
<b>AUG</b>	33.34%		44.44%	22.23%			
<b>SEP</b>	44.45%		44.44%	11.12%			
<b>OCT</b>	70.00%		30.00%				
<b>NOV</b>	75.15%		24.86%				
<b>DEC</b>	59.63%	13.55%	9.10%				17.74%

OBS.: Zone 1 – Thermal Comfort; Zone 2 – Natural Ventilation; Zone 7 – High Inertia / Passive Solar Heating; Zone 8 – Passive Solar Heating; Zone 9 – Artificial Heating; Zone 10 – Natural Ventilation / High Inertia; Zone 11 – Natural Ventilation / High Inertia / Evaporative Cooling.

Source: the authors.

The annual data represented in Picture 6 shows predominance with 45.26% of days/year, in which it is not necessary to use bioclimatic strategies (Zone 1), because the comfort sensibility in the built environment is naturally achieved. Comparing to the study of Gobo et al. (2015) - even having been developed for urban scale, are similar, showing comfort temperatures for the summer period, and close ones for the periods of spring and autumn.



**Picture 6** - Thermal Comfort Strategies for the city of Lajeado (Annual Average).

The strategy of High Inertia<sup>3</sup>/ Passive Solar Heating (Zone 7) can be used in 29.92% of days in separate or together, as described by Lamberts et al. (2013). Thus, this combination of strategies is fundamental for the period of days with lower temperatures, where the solar radiation can be used in abundance for heating the materials at the buildings openings with little protection.

The Passive Solar Heating strategy as a natural heating resource (Zone 8) appears with 10.24% of all days, rendering the utilization of the solar radiation through the buildings openings and transparencies aiming to achieve the comfort temperature for the indoor ambient. For this case, it can be considered the relative percentage of days at Zone 7 using this strategy, considerably the number of days/year. Doing so, the squares must be designed in such a way that the solar incidence will be received directly from the winter solstice radiation and kept protected during summer solstice (wall coverage, awning, solar protections, and so on).

Artificial Heating of the indoor ambient turned up as a strategy, which can be disregarded showing a low percentage of occurrences (0.47%). Thus, it is confirmed that there is no necessity for the use of heating since investments for implementations are not worth due to low utilization. The sporadic use of elements, like fireplace or air conditioning equipment running the reverse cooling cycle (heating) can be envisaged.

Strategies of Zones 2, 10 and 11, achieve together approximately 15% of days/year (equivalent to the period of two months a year) with possibility to use the strategy of Natural Ventilation. Notably, these days have the tendency to occur in periods of summer. In these cases, the High Inertia strategy must be earmarked in projects for thermal isolation of the building, along with the alternative in appliance of diverse materials compositions. During hot days, the Evaporative Cooling strategy<sup>4</sup> can be used, but only with a lesser percentage of relative air humidity, as not to increase the discomfort sensibility.

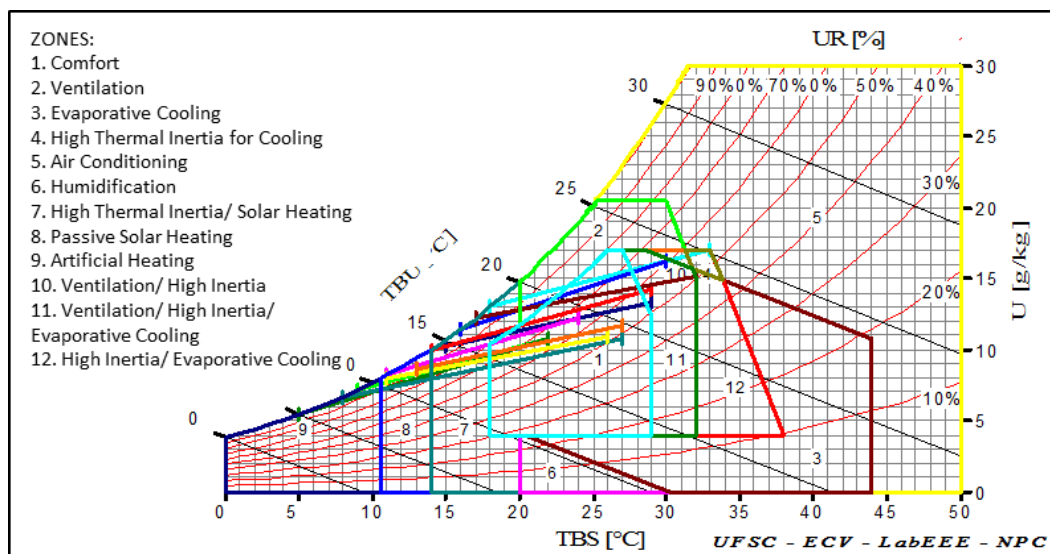
### **3.2. BIOCLIMATIC CHART FOR LAJEADO/RS, FROM AVERAGE MAXIMUM AND ABSOLUTE MINIMUM TEMPERATURES.**

Analyzing the second bioclimatic developed based on maximum average and minimum absolute monthly temperatures, the predominance of the strategies for zones 1, 2, 7, 8, 10 and 11, previously analyzed, are followed. However, as shown in Figure 7, there is an expansion of the activities of bioclimatic strategy of Zone 9 (Artificial Heating), and the need for application of bioclimatic strategies to zones 4 and 12, High Thermal Inertia for Cooling, and High Inertia/ Evaporative Cooling.

---

<sup>3</sup> The High Inert strategy can be utilized for heating and cooling. In the periods of winter the materials can capture the heat during the day and liberates it gradually in the cooler period, helping on heating of the indoor ambient. In the period of summer, the buildings openings must be protected and the materials must be kept shaded to lessen the temperature of the indoor ambient (LAMBERTS *et al.*; 2013).

<sup>4</sup> Bioclimatic strategy, in which can be made use of the wind currents to cool water droplets, which can be put into sprayed air suspension (aspersión). This strategy is an adequate solution for periods with very low relative air humidity and temperatures lower than 27°C (LAMBERTS *et al.*; 2013).



**Picture 7** - Bioclimatic Chart for Lajeado/RS (Average Absolute Temperatures).

Analyzing the information, the Table 4 was developed based on the aggregation of data in amount of days (percentage) for each month. There is a significant expansion of recommendation for the use of Artificial Heating strategies (Zone 9), in order to suit buildings environments during more intense winter periods, corresponding to the months of June, July and August. For the months of January and February, it is recommended the use of the strategy of High Thermal Inertia for Cooling (Zone 4), adapting the materiality and the heat gain by excess solar radiation.

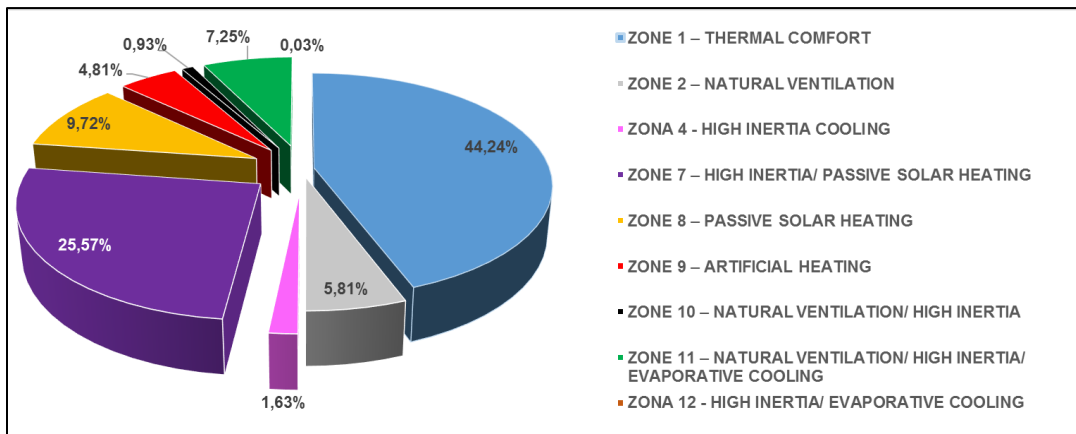
The strategy of High Inertia/Evaporative Cooling (Zone 12) is recommended for the month of December, but with a percentage of 0.39% with possibility of use. As submitted previously, the strategy of Evaporative Cooling would not be suitable for use in the region, due to the high percentage of relative humidity.

**Table 4** - Bioclimatic Monthly Estrategies for the City of Lajeado/RS (Average Absolute Temperatures).

	ZONE 1	ZONE 2	ZONE 4	ZONE 7	ZONE 8	ZONE 9	ZONE 10	ZONE 11	ZONE 12
<b>JAN</b>	31.53%	20.23%	9.56%	13.34%			4.16%	21.18%	
<b>FEB</b>	29.34%	21.71%	10.37%	13.34%			6.82%	18.41%	
<b>MAR</b>	38.75%	16.43%		28.58%				16.24%	
<b>APR</b>	68.29%			29.68%				2.03%	
<b>MAY</b>	46.07%			30.86%	23.08%				
<b>JUN</b>	30.77%			30.77%	26.92%	11.54%			
<b>JUL</b>	23.53%			23.53%	20.58%	32.36%			
<b>AUG</b>	47.37%			21.05%	18.42%	13.16%			
<b>SEP</b>	53.33%			26.67%	20.00%				
<b>OCT</b>	64.29%			28.57%	7.15%				
<b>NOV</b>	56.16%			39.38%				4.46%	
<b>DEC</b>	42.05%	12.32%		20.00%				25.25%	0.39%

OBS.: Zone 1 – Thermal Comfort; Zone 2 – Natural Ventilation; Zone 4 - High Thermal Inertia for Cooling; Zone 7 – High Thermal Inertia / Passive Solar Heating; Zone 8 – Passive Solar Heating; Zone 9 – Artificial Heating; Zone 10 - Natural Ventilation / High Inertia; Zone 11 - Natural Ventilation / High Inertia / Evaporative Cooling; Zone 12 - High Inertia / Evaporative Cooling.  
Source: the authors.

Analyzing the data for the year, as shown in Picture 8, the predominance of the strategies presented in the Bioclimatic Chart generated by the monthly averages (Picture 6) is clear. The percentage presented in Zone 4 (1.63%) shows considerable value and can work along with the strategies of the Zones 7, 10 and 11. The use of Zone 9 strategy appears very small (0.03%), recommending that it should work along with the strategies of the Zones 10 and 11.



**Picture 8** - Thermal Comfort Strategies for the City of Lajeado/RS (Average Absolute Temperatures).

Thus, closing the analysis of the information presented in Pictures 6 and 8, the percentage data has been inserted in the Software BioEstat in order to develop statistical analysis by applying the Variance Analysis Method for one criterion. In conclusion, the analysis showed no significant variation, highlighting the of the results validation from the use of Monthly Averages to the Absolute Averages analyzed results.

### 3.3. NATURAL VENTILATION STRATEGY AND WIND PREDOMINANCE FOR THE CITY OF LAJEADO/RS

According to Lamberts et al. (2013), the natural ventilation strategy is one of the most important for Brazil since it can be used as an ideal strategy in all bioclimatic zones of territories, showing a temperature variation between 20°C and 32°C, and relative humidity of 15% a 75%. The calculated climatic averages in this study confirm the possibility of using this strategy for the city of Lajeado in October and February, coincidently with periods in spring and summer, as an ideal alternative to improve the energy performance of buildings.

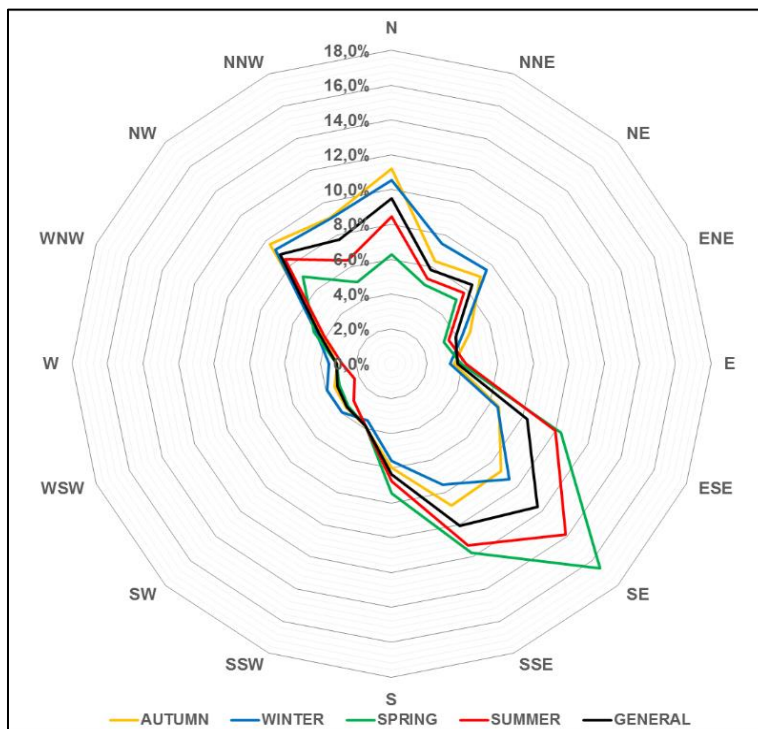
It should be emphasized that the Natural Ventilation strategy (Zone 2), is important due to the high levels of relative air humidity. The high levels occur, probably, by the presence of the two rivers (Foqueta and Taquari) by the

municipality, with large volume of water. The continentality characteristic and the difference in elevation from the Lajeado region to the nearby region to the North (Northern Rio-Grandense Plateau), can be a determining factor for the retention and increase of this levels, locally.

Thus, based on available data from the CIH, a new wind rose for the city of Lajeado was developed, qualifying and classifying the data respectively to climatic seasons. Comparing to the studies of Tomasini (2011) and the Wind Atlas of the state Rio Grande do Sul (2014), the average data plotted to the wind rose show a general predominance for the directions SE and NO.

However, the qualification of the data regarding previous studies shows desirable abilities to determine the protection type or a more adequate opening for a determined orientation of the building facade, with respect to the climatic season, and thus enabling the development of techniques to minimize quantities of heat in summer or maintaining the indoor temperature in winter (maintenance of heat in environments); in summary holding the comfort temperature for the constructed building.

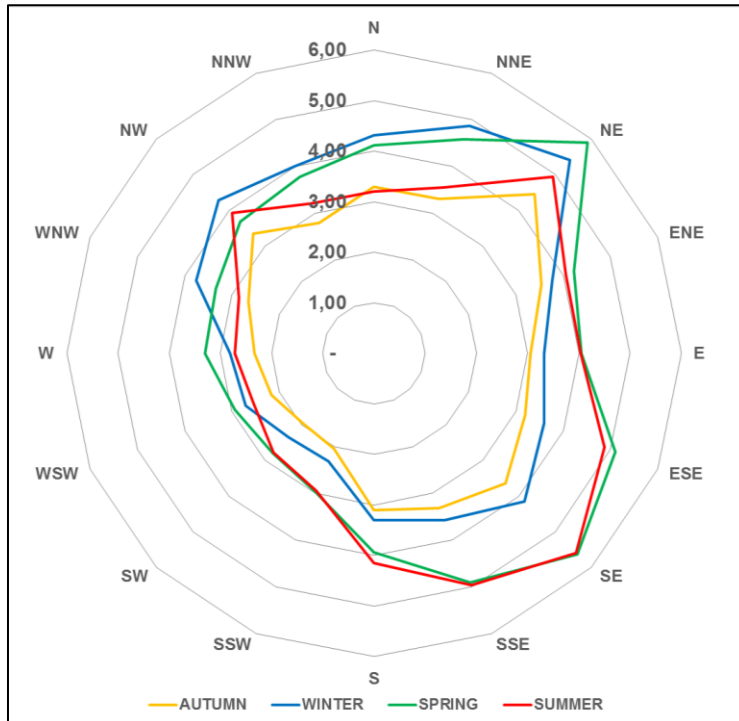
In Picture 9 are shown the periods of summer and spring with predominance to the orientations inclined to SE with a good average wind speed (Picture 10) in spring, which can help significantly to the bioclimatic strategy of natural ventilation.



**Picture 9** - Predominance Wind (%) for the city of Lajeado (Period 2004-2015).

In winter periods there is wind predominance for directions N, NW and SE, maintaining the average in hot periods, but with a more regular distribution (Picture 9). For the days in autumn where the winds speed is more clement than

in winter (Picture 10) with a direction predominant from N, buildings have to be protected for not losing their stored heat.



**Figure 10** - Average Wind Speed (km/h) for the city of Lajeado (2004-2015).

The analysis of wind speed and direction is fundamental due the quantity of days where the bioclimatic strategy of natural ventilation can be used for the region. Importantly, for a successful realization this strategy can be attended beside a higher amount of windows in the buildings facades or cross ventilation, with a great variety of architectonic tools, among other alternatives, evaluating the chimney effect system, static aspirators or geothermic ventilation.

#### 4. CONCLUSION

The presented results of the climatic analyses highlight the importance of the developed study for the city of Lajeado. It is also important to note that the applied method (analysis of climatic data) can also be used to other regions. The presented bioclimatic strategies destined for application in architectonic projects, meet the local demand for occurrence of a cultural rearrangement in construction and answer the comfort questions of constructed ambient and energy efficiency.

The high indices regarding the natural ventilation strategy presented in this study offer a huge opportunity to assess new constructive elements, which differ from conventional standards, for a better use of this natural resource. The Thermal Inertia strategy needs to be rethought, abandoning outdated techniques and working out new ones or combinations of construction materials.



At this point, the materials have to be related to European standards, to achieve good energy efficiency indices for buildings.

Pointing out the analysis of the bioclimatic chart, the low frequency of these days in which the use of Air Conditioning (Zone 5) or Artificial Heating (Zone 9) are indicated, bearing in mind that these capabilities are typically widely used. Additionally, the necessity for a special working method for thermal isolation of new and preexisting buildings is highlighted for the best customization of human beings to the built environment, energy efficiency and the projectural rationality, based on local climatic characteristics and data.

The study can be complemented by the addition of indices related to geographical attributes of sites that can be studied, such as precipitation, land use, continentality and maritime dimension, which can influence directly on the characteristics of thermal comfort and strategies to be used in building projects.

## **5. REFERENCES**

ASCENSO, Rita. Nearly zero energy buildings - O que vai mudar com os NZEB? Edifícios e Energia. Algés, Portugal. 2016. Disponível em: <<http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/tema-de-capa-1>>. Accessed on Oct 20. 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220-3 – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3. Rio de Janeiro, 2005.

ATLAS eólico. Porto Alegre: Secretaria de desenvolvimento e promoção do investimento, 2014.

AYRES, Manuel. BioEstat, versão 5.3. Universidade Federal do Pará (UFP), Belém. 2007.

BATIZ, Eduardo Concepción; GOEDERT, Jean; MORSCH, Junir Junior; JUNIOR, Pedro Kasmirski; VENSKE, Rafael. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. Produção, São Paulo, v.19, n.3, p.477-488, 2009.

BHANDARI, Mahabir; SHRESTHA, Som; NEW, Joshua. Evaluation of weather datasets for building energy simulation. Energy and Buildings. v. 49, June, p. 109–118. 2012.

BRITO, L.A.P.F.; CABRAL, S. Análise bioclimática do Município de Caraguatatuba de São Paulo de 1998 a 2006. Revista Tecno-lógica. Santa Cruz do Sul. v. 12, n. 1, p. 1-6. 2008.

Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, de 16 dez. 2002. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0091&from=ES>>. Accessed on Nov 12. 2016.

GIVONI, B. Man, climate and architecture. Amsterdam: Elsevier Publishing Company Limited. (Architectural science series.), 1969

\_\_\_\_\_. Confort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Buildings, v.18, n. 1, p. 11-23, 1992.



GRIGOLETTI, Giane de Campos; FLORES, Michelle Gomes; SANTOS, Joaquim Cesar Pizzutti dos. Tratamento de dados climáticos de Santa Maria, RS, para análise de desempenho térmico de edificações. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 123-141, jan. 2016.

GOBO, João P.A.; GALVANI, Emerson; WOLLMANN, Cassio Arthur; CELUPPI, Maria Cristina. Estudo de zoneamento do conforto térmico humano para o Rio Grande do Sul: A inserção de anos-padrão como proposta metodológica. *Ciência e Natura*. Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 451-470. set./dez. 2015.

IBGE. Censo Demográfico 2010. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=431140>>. Accessed on Oct 28. 2016.

JOURDA, Françoise-Hélène. *Pequeno Manual do Projeto Sustentável*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2012.

LABEEE. Analysis Bio, versão 2.2. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – UFSC, 2010. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. *Eficiência energética na arquitetura*. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2013.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. *Conforto térmico em ambientes internos*. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2003. (Material didático para disciplina conforto térmico). Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/Resumo.asp?1250>>. Accessed on Oct 04. 2016.

LARASATI ZR, Dewi; MOCHTAR, Sahid. Application of bioclimatic parameter as sustainability approach on multi-story building design in tropical área. *Procedia Environmental Sciences*. Japan. V.17, p. 822-830. 2013.

MUNIZ, Francisco G.L.; CARACRISTI, Isorlanda. Urbanização, Conforto Térmico e Análise Sazonal Microclimática da Cidade de Sobral(Ce). *Revista da Casa da Geografia de Sobral*. Sobral, v. 17, n. 1, p. 4-17. Mar. 2015.

ONU-Organização das Nações Unidas. Acordo de Paris para o clima entra em vigor; ONU pede mais esforços na redução de emissões. 2016. Link: <<https://nacoesunidas.org/acordo-de-paris-para-o-clima-entra-em-vigor-onu-pede-mais-esforcos-na-reducao-de-emissoes/>>. Accessed on Nov 07. 2016.

Prefeitura Municipal de Lajeado (PML). Link: <[http://www.lajeado.rs.gov.br/?titulo=Lajeado&template=conteudo&categoria=931&codigoCategoria=931&idConteudo=2988&tipoConteudo=INCLUDE\\_MOSTR\\_A\\_CONTEUDO](http://www.lajeado.rs.gov.br/?titulo=Lajeado&template=conteudo&categoria=931&codigoCategoria=931&idConteudo=2988&tipoConteudo=INCLUDE_MOSTR_A_CONTEUDO)>. Accessed on Oct 25. 2016.

ROAF, Sue; CRICHTON, David; NICOL, Fergus. *A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas: um guia de sobrevivência para o século XXI*. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SPINELLI, R.; ALVES, A.; KONRAD, O. Cidade e Edificações: A busca por um novo modelo. *Destaques Acadêmicos*. Lajeado, v. 5, n. 4, p.173-186. dez. 2013.

SOFFIATI, Arthur. Algumas palavras sobre uma teoria da eco-história. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*. Paraná. n. 18, p. 13-26. jul./dez. 2008.

TOMASINI, Juliana. *Padrão de variabilidade do vento à superfície, em Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil: implicações ambientais*. 2011. 58 f. f. Monografia

(Bacharel em Engenharia ambiental) - Curso de Engenharia ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2011.

### 3 SEGUNDO ARTIGO

#### ESTUDO DE MATERIAIS NATURAIS PARA APLICAÇÃO EM ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

SPINELLI, R.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Estudo de Materiais Naturais para Aplicação em Isolamento Térmico de Edificações. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.3, p.121-135, 2018.

Artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA) – ISSN 2179-6858. O periódico possui estrato superior *Qualis* B1 em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## *Estudo de materiais naturais para aplicação em isolamento térmico de edificações*

As crises energéticas e os impactos climáticos revelaram a necessidade de se repensar a forma de projetar as edificações, que se apresentam como grandes geradores de gases causadores do efeito estufa e consumo de 40% da energia elétrica mundial. A ONU e diversos países vem redigindo recomendações e legislações sobre o tema, orientando a utilização de materiais adequados, visando a eficiência energética em edificações. Este estudo se desenvolveu a partir de uma metodologia de pesquisa bibliométrica, buscando por materiais de isolamento térmico para utilização em edificações, que possam substituir materiais convencionais que utilizam recursos não renováveis e poluentes no seu sistema de fabricação. Grande parte dos materiais naturais pesquisados, surgem oriundos de resíduos agrícolas, que podem ser tratados, e utilizados como material construtivo. Os estudos pesquisados apontam desempenho de condutividade térmica ( $\lambda$ ) abaixo do recomendado para materiais isolantes ( $\lambda < 0,07$  W/m.K). Assim, materiais que poderiam ser considerados resíduos, surgem como nova alternativa construtiva. Os estudos desenvolvidos a partir da casca de arroz ( $\lambda = 0,0464$  W/m.K), folha de abacaxi ( $\lambda = 0,0380$  W/m.K), bagaço de cana ( $\lambda = 0,0460$  W/m.K) e sabugo de milho ( $\lambda = 0,0580$  W/m.K) apresentam resultados importantes, além de serem alternativas viáveis para serem utilizadas no Brasil, por haver grandes áreas de plantio para estas culturas. Salienta-se a importância de se desenvolver pesquisas práticas da aplicabilidade destes materiais, bem como testes de resistência ao fogo e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

**Palavras-chave:** Condutividade Térmica; Isolamento Térmico; Conforto Térmico; Eficiência Energética; Material Natural.

## *Study of natural materials for application in thermal insulation of buildings*

Energy crises and climate impacts have revealed the need to rethink the design of buildings, which are major generators of greenhouse gases and 40% of the world's electricity consumption. The UN and several countries have been writing recommendations and legislation on the subject, guiding the use of appropriate materials, aiming at energy efficiency in buildings. This study was developed from a bibliometric research methodology, looking for thermal insulation materials for use in buildings that can replace conventional materials that use non-renewable resources and pollutants in their manufacturing system. Most of the natural materials researched come from agricultural residues, which can be treated and used as constructive material. The studies researched show thermal conductivity performance ( $\lambda$ ) below the recommended for insulating materials ( $\lambda < 0.07$  W/m.K). Thus, materials that could be considered waste appear as a new constructive alternative. Studies from rice husk ( $\lambda = 0.0464$  W/m.K), pineapple leaf ( $\lambda = 0.0380$  W/m.K), sugarcane bagasse ( $\lambda = 0.0460$  W / mK) and Corn ( $\lambda = 0.0580$  W/mK) has important results, besides being viable alternatives to be used in Brazil, because there are large areas of planting for these crops. The importance of developing practical research on the applicability of these materials, as well as fire resistance testing and Life Cycle Assessment (LCA) is emphasized.

**Keywords:** Thermal Conductivity; Thermal Insulation; Thermal Comfort; Energy Efficiency; Natural Material.

Topic: **Construções e Arquitetura Sustentáveis**


Received: **10/02/2018**

Approved: **24/03/2018**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Rodrigo Spinelli   
Universidade do Vale do Taquari, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7771857527009401>  
<http://orcid.org/0000-0002-6323-706X>  
[rspinelli@univates.br](mailto:rspinelli@univates.br)

Faustino Patiño Cambeiro   
Universidade de Vigo, Espanha  
<http://lattes.cnpq.br/3732275572091623>  
<http://orcid.org/0000-0002-2340-7861>  
[faustinopc@gmail.com](mailto:faustinopc@gmail.com)

Odorico Konrad   
Universidade do Vale do Taquari, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9946679953072196>  
<http://orcid.org/0000-0002-6968-7969>  
[okonrad@univates.br](mailto:okonrad@univates.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.003.0011

### Referencing this:

SPINELLI, R.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, O.. Estudo de materiais naturais para aplicação em isolamento térmico de edificações. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.9, n.3, p.121-135, 2018.  
DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.003.0011>

## INTRODUÇÃO

A crise energética desencadeada no início dos anos 1970, apresenta uma realidade em que se torna fundamental trabalhar com estratégias que visam minimizar o consumo energético, e a racionalização dos métodos de utilização dos recursos naturais (SPINELLI et al., 2013). Para Muniz et al. (2015), intensificam-se os alertas climáticos

com a criação e atuação do clube de Roma e a conferência de Estocolmo na Suécia em 1972 onde, dentre outros temas ambientais, apresentou-se o conceito de desenvolvimento sustentável, defendendo o uso moderado dos recursos naturais, tanto por serem finitos como por haver preocupação no que tange às fragilidades de alguns ambientes naturais.

Em novembro de 2016, entra em vigor do Acordo de Paris, visa reduzir consideravelmente as emissões de gases causadores do efeito estufa, a fim de reduzir a ampliação da temperatura média do planeta, que se encaminha para níveis alarmantes, pois “2015 foi o ano mais quente do mundo moderno, e os seis primeiros meses de 2016, até agora, bateram todos os recordes anteriores”.

Os impactos das construções ao meio ambiente para a união europeia, em relação as emissões de CO<sub>2</sub>, as edificações estão entre os consumidores de energia mais significativos e os emissores de gases de efeito estufa; habitações, escritórios, lojas e o resto de edifícios públicos e privados geram 36% das emissões de gás e representam 40% do consumo de energia (EICHHAMMER et al., 2009). Destaca-se que o mercado da construção civil utiliza aproximadamente 40% dos recursos naturais não renováveis do planeta (JOURDA, 2012). Os dados apresentados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2000, citado por ASDRUBALI et al., 2015) validam estes percentuais, e reforçam que 25% da água global é utilizada pelas edificações.

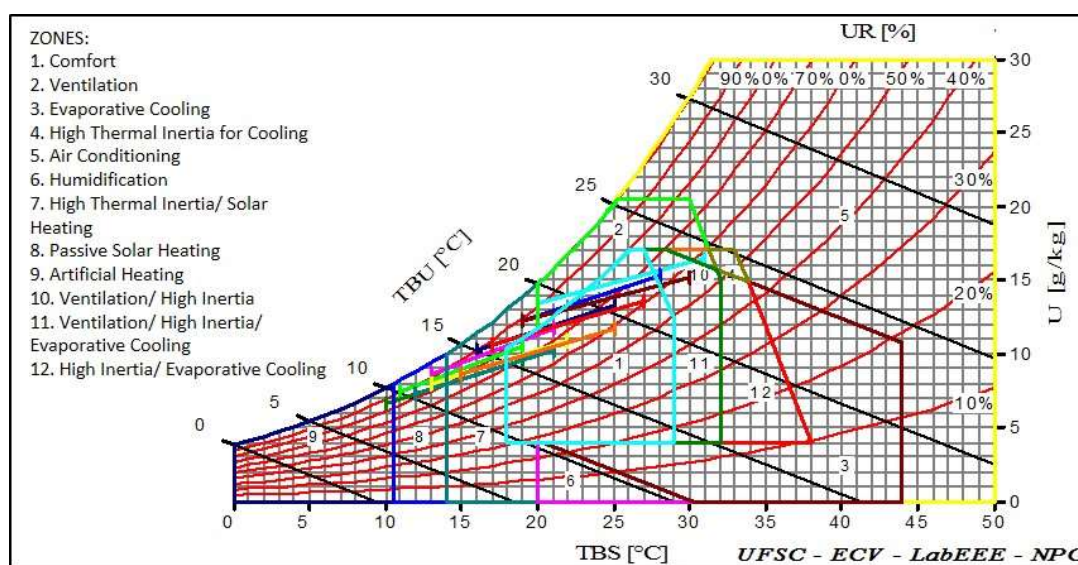
A estratégia desenvolvida pela União Europeia a fim de mitigar os efeitos negativos da mudança climática, em que até o ano de 2020 as edificações novas deverão ser eficientes energeticamente, com balanço próximo do zero, consumindo a mesma quantidade de energia que seja capaz de gerar, cabendo a cada estado membro desenvolver o melhor método para atingir os objetivos, e apresenta-se como fator fundamental a adaptação climática das edificações, seguindo as orientações da Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu, Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, determinando que os materiais de construção sejam utilizados de forma racional, as edificações devem ser eficientes energeticamente para minimizar a emissão dos gases de efeito estufa (CAMBEIRO et al., 2016).

No Brasil, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), os setores Residencial (29%), Comercial (19%), e Industrial (36%), são responsáveis por 84% do consumo energético atual, considerado elevado (PROCEL INFO, 2017). Em relatório elaborado pela EPE (2016), em que apresenta “O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia”, identifica que para o consumo energético há três desafios importantes a serem atendidos: 1) eficiência energética para redução do consumo energético de edificações e emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE); 2) ampliação da autoprodução energética, para que atenda o crescente consumo e da geração distribuída; e 3) atender um crescimento de consumo energético anual de 3%, no período de 2014 a 2030 (desconsiderando a autoprodução e incluindo os ganhos relacionados a eficiência energética) (EPE, 2016).

Destaca-se no relatório desenvolvido pela EPE (2016) o papel do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)<sup>1</sup>, que por meio do PROCEL Edifica busca estimular a utilização dos conceitos de eficiência energética em edificações, apoiando a viabilização da Lei de Eficiência Energética (10.295/2001), “bem como contribuir com a expansão, de forma energeticamente eficiente, do setor de edificações do país, reduzindo os custos operacionais na construção, utilização e manutenção dos imóveis” (PROCEL, 2016).

Ao se projetar de forma eficiente as edificações, segundo dados do PROCEL INFO (2017), edificação novas, que tendem a utilizar estratégias de eficiência energética, apresentam uma economia de até 50%, e as edificações reformadas podem apresentar uma economia de até 30%. Em edificações públicas, cerca de 70% da energia é utilizada em iluminação e climatização artificial, o que reforça a importância do tratamento adequado de fechamentos em paredes e aberturas, com a utilização de materiais com isolamento térmico (PROCEL INFO, 2017).

Em estudo a partir da análise de dados climáticos, e desenvolvimento da carta bioclimática (Figura 1) para a cidade de Lajeado/RS, descreve não haver necessidade de utilização de estratégias de climatização artificial, tanto para resfriamento e aquecimento (zonas 5 e 9), retratando assim a inadequação dos materiais construtivos atualmente utilizados para o clima local. Reforça assim a importância de utilização de materiais inovadores para isolamento térmico e eficiência energética de edificações (SPINELLI et al., 2017).



**Figura 1:** Carta Bioclimática para Lajeado/RS. Fonte: Spinelli et al. (2017).

OBS.: Zona 1 - Conforto Térmico; Zona 2 - Ventilação Natural; Zona 3 - Resfriamento Evaporativo; Zona 4 - Alta Inércia Térmica para Resfriamento; Zona 5 - Ar Condicionado; Zona 6 - Umidificação; Zona 7 - Alta Inércia / Aquecimento Solar Passivo; Zona 8 - Aquecimento Solar Passivo; Zona 9 - Aquecimento Artificial; Zona 10 - Ventilação Natural / Alta Inércia; Zona 11 - Ventilação Natural / Alta Inércia / Resfriamento Evaporativo; Zona 12 - Alta Inércia / Resfriamento Evaporativo.

## REVISÃO TEÓRICA

### Materiais Convencionais Utilizados para Isolamento Térmico

Os materiais comercialmente utilizados para isolamento térmico são: 1) Lã de rocha (ou lã mineral), produzido à base de rocha liquefeita, e com baixa condutividade térmica ( $\lambda = 0,035 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ); 2) Lã de

<sup>1</sup> É um programa de governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobrás. Foi instituído em 30 de dezembro de 1985 para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. As ações do Procel contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia e, além disso, postergam os investimentos no setor elétrico, mitigando, assim, os impactos ambientais e colaborando para um Brasil mais sustentável (PROCEL, 2016).

vidro, produzida pela expansão do vidro a quente, e condutividade térmica baixa ( $\lambda = 0,04 / 0,055 \text{ W/m.K}$ ); 3) Poliuretano (PU), que apresenta características adequadas para utilização na construção civil, e condutividade térmica muito baixa ( $\lambda = 0,025 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ); 4) Poliuretano Projetado ( $\lambda = 0,016 / 0,02 \text{ W/m.K}$ ); 5) Poliuretano Expandido (EPS), um dos materiais mais utilizados para isolamento térmico ( $\lambda = 0,035 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ); e 6) Poliuretano Extrudado (XPS) ( $\lambda = 0,035 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ) (DUTRA, 2010).

Um material pode ser considerado como um isolador térmico, se o seu índice de condutividade térmica for inferior a  $0,07 \text{ W/m.K}$ . Wiebeck et al. (2005) apresenta dados relacionados aos polímeros sintéticos (EPS e XPS), como sendo materiais com boa resistência ao fogo, isolantes acústicos, e não propagam fungos. Em sua composição, os polímeros (PU) possuem isocianatos<sup>2</sup>, sendo substâncias voláteis, oferecem risco a saúde das pessoas que os inalarem (ASDRUBALI et al., 2005a). Marques et al. (2009) citam que:

Os polímeros sintéticos, que foram responsáveis por muitos avanços que temos hoje como a obtenção de materiais plásticos, e a infinidade de itens que constituem o nosso cotidiano, também são responsáveis por grandes problemas com o meio ambiente. Muitos polímeros não são recicláveis e os sintéticos derivados de petróleo não sofrem biodegradação, e ainda os que são recicláveis muitas vezes não são reciclados, causando problemas imensuráveis como enchentes, que por sua vez causam problemas ambientais e sociais, nos colocando assim em uma bola de neve catastrófica.

## Normatização

Para a normatização do desempenho térmico de materiais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a NBR 15220, que apresenta os índices a serem necessários para se calcular o Desempenho Térmico de Edificações. O índice fundamental, é a condutividade térmica ( $\lambda$ ), que segundo a NBR 15220-1 é a “Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de  $1 \text{ W/m}^2$ , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro”, e sua unidade de medida é  $\text{W/(m.K)}$  (ABNT, 2005).

A NBR 15220-2, apresenta a condutividade térmica de diversos materiais convencionais. Na NBR 15220-4, detalha o método para determinação de resistência térmica e condutividade térmica com a utilização do princípio da placa quente protegida (ABNT, 2005). Com a determinação da Condutividade Térmica de um material, torna-se possível se calcular a Resistência Térmica ( $R$ )<sup>3</sup> de elementos e componentes, a Transmitância Térmica ( $U$ )<sup>4</sup>, a Densidade do Fluxo de Calor ( $q$ )<sup>5</sup> de um fechamento opaco, e o Fluxo de Calor ( $Q$ )<sup>6</sup>.

<sup>2</sup> Em química, isocianato é o grupo funcional de átomos -  $\text{N}=\text{C}=\text{O}$  (nitrogênio, carbono e oxigênio). Um composto orgânico que tem este grupo funcional, tendo fórmula geral  $\text{R}-\text{N}=\text{C}=\text{O}$  é chamado de um isocianato. O grupo Isocianato é altamente reativo a grupos com Hidrogênio livre no sistema, um exemplo típico são as tintas de Poliuretano bicomponente, no qual o isocianato reage com uma Hidroxila OH, formando uma ligação uretânica. O isocianato é altamente higroscópico, devendo ser mantido longe de umidade, visto sua característica de reatividade com a água (McNaught, 2005).

<sup>3</sup> “Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário” (ABNT, 2005).

<sup>4</sup> “O inverso da resistência térmica total de um componente” (ABNT, 2005).

<sup>5</sup> “Quociente do fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície” (ABNT, 2005).

<sup>6</sup> “Quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo” (ABNT, 2005).

Assim, tomada a importância do desempenho energético para a qualidade das edificações, elaborou-se a NBR 15575, para se atender as exigências dos usuários de edificações habitacionais, comportamento este relacionado ao período do seu uso. A NBR 15575 é um conjunto de normas que estipula o desempenho de acordo com requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação que proporcionam a construção de edificações mais seguras e eficientes (ABNT, 2013).

A NBR 15575 destaca as exigências dos usuários das edificações residenciais, apresentando uma lista geral dividida em segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Esta norma de desempenho complementa as normas pré-existentes, não substituindo-las, em que as normas de desempenho e prescritivas devendo ser utilizadas em conjunto (ABNT, 2013). Asdrubali et al. (2015a) cita que “os sistemas e materiais de isolamento térmico visam reduzir a transmissão do fluxo de calor. O desempenho de isolamento térmico de materiais homogêneos únicos ou combinados é geralmente avaliado, respectivamente, por condutividade térmica e transmitância térmica”.

### **Certificações**

Destaca-se que as edificações são, conseqüentemente, uma das principais fontes de poluição em todo o mundo. Os modelos internacionais de certificação que atestam a sustentabilidade ambiental dos edifícios adotam o impacto ambiental da construção em seu ciclo de vida como característica fundamental. Atualmente, esses certificados atendem aos critérios locais (BREEAM, criado no Reino Unido, HQE na França, LIDERA em Portugal) ou têm um alcance universal, como é o caso certificação americana conhecida como LEED. Esses certificados levam em conta o desempenho energético do prédio como característica fundamental, baseadas no processo construtivo, materiais de construção e sua procedência de origem (sendo uma preocupação o transporte em longa distância, e quantidade de emissões de gases gerados, entre outras), bem como a energia utilizada para execução e manutenção da edificação (CAMBEIRO et al., 2016).

### **Objetivo**

Esta pesquisa tem por objetivo apresentar um referencial bibliográfico de pesquisas relacionadas a materiais naturais, com potencial inovador para utilização em isolamento térmico de edificações. Para os materiais pesquisados, será desenvolvida uma descrição sintetizada de cada, com a apresentação das características e parâmetros fundamentais para o estudo, como os coeficientes de condutividade térmica.

### **METODOLOGIA**

O procedimento inicialmente utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa é o levantamento exploratório, com busca de dados a partir do servidor Proxy da UNIVATES, pesquisando em artigos científicos, dissertações e teses publicados nas bases Periódicos da CAPES (<http://www.periodicos.capes.gov.br/>), e na fonte internacional de pesquisa científica Science Direct (<http://www.sciencedirect.com/>), até o período de 2017. Denomina-se este levantamento de Metodologia Bibliométrica. Segundo Macias-Chapula (1988, citado por Vanti, 2002), a bibliometria é:



[...] o estudo dos aspectos quantitativos da produção, disseminação e uso da informação registrada. A bibliometria desenvolve padrões e modelos matemáticos para medir esses processos, usando seus resultados para elaborar previsões e apoiar tomadas de decisões.

Para a pesquisa, foram utilizadas as palavras-chave: isolamento de edificações (*building insulation*), condutividade térmica (*thermal conductivity*), sustentabilidade (*sustainability*), conforto térmico (*thermal comfort*), materiais de construção (*building materials*), materiais naturais (*natural materials*), materiais não poluentes (*non-polluting materials*), eficiência energética (*energy efficiency*), consumo energético (*energy consumption*), isolamento térmico com fibras (*fibrous thermal insulation*) e desenvolvimento sustentável (*sustainable development*). Após a pesquisa, os resultados foram filtrados por área de interesse como: engenharia civil (*civil engineering*), arquitetura (*architecture*), conforto térmico (*thermal comfort*), isolamento térmico (*thermal insulation*), ambiente (*environment*) e condutividade térmica (*thermal conductivity*). Ao término da pesquisa com palavras chaves, analisou-se aproximadamente 40 pesquisas (artigos, dissertações e teses), que foram consideradas por apresentarem (prioritariamente) dados de condutividade térmica relacionados aos materiais naturais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Materiais naturais para isolamento térmico

Uma boa gama de materiais naturais, e de composição de alguma sobra de produção agrícola vem sendo estudados em pesquisas, para avaliação das potencialidades de serem utilizados na construção civil, principalmente para isolamento térmico e conforto acústico. Segundo Asdrubali et al. (2015a),

O uso desses produtos não é generalizado e, em alguns casos, é limitado a um estágio experimental e laboratorial. [...] A sustentabilidade real dos materiais de isolamento considerados está ligada à sua disponibilidade; serem utilizados, preferencialmente, onde são colhidos, produzidos ou fabricados.

### Junco

O junco pode ser considerado como o material de construção mais antigo utilizado para isolamento térmico, desde o período Neolítico para isolar edificações em períodos de frio. Em países do leste europeu são utilizados em telhados e paredes, tanto como isolamento interno ou externo (Figura 2), podendo ser revestidos com gesso (HISS REET, 2003, citado por ASDRUBALI et al., 2015a).

A condutividade térmica de um painel de junco pode ser considerada na faixa de 0,045 e 0,056 W/m.K, e sua densidade varia de 130 a 190 kg/m<sup>3</sup> (HISS REET, 2003, citado por ASDRUBALI et al., 2015a). No entanto, o valor de 0,045 W/m.K da condutividade térmica parece ser muito baixo. Pesquisas realizadas pelo método de placa quente, indicaram valores aproximados de 0,055 W/m.K para condutividade térmica (ASDRUBALI et al., 2012; ASDRUBALI et al., 2015b).



**Figura 2:** PAINEL DE JUNCO APLICADO EM ALVENARIA DE BLOCO CERÂMICO.

### **Bagaço de Cana**

O Brasil é o principal produtor mundial de cana, responsável por 30,2% da área de plantio mundial, equivalente a 6,153 milhões de toneladas colhidas. Para cada tonelada de cana processada, é produzido aproximadamente 71 kg de açúcar e 42 litros de etanol, gerando como subproduto o bagaço. Atualmente, o bagaço vem sendo utilizado como biomassa para geração de energia. Novas pesquisas apontando para utilização na construção civil para fabricação de fibrocimento.

Ao estudar o efeito da densidade do bagaço na condutividade térmica, Manohar et al. (2006), analisaram amostras caracterizadas por densidade entre 70 e 120 kg/m<sup>3</sup>. A amostra com melhor resultado apresentado foi com densidade de 100 kg/m<sup>3</sup> e uma condutividade térmica de 0,046 W/m.K (MANOHAR et al., 2006; MANOHAR, 2012).

Os experimentos desenvolvidos por Panyakaev et al. (2011), o valor da condutividade térmica ampliou-se para 0,049 W/m.K para o aglomerado com densidade de 250 kg/m<sup>3</sup>, e atinge 0,055 W/m.K ao se testar a densidade de 350 kg/m<sup>3</sup>. A pesquisa desenvolvida por Onésippe et al. (2010), em que o bagaço de cana foi adicionado a uma mistura de cimento com condutividade térmica de 0,62 W/m.K. Ao se adicionar 3% de fibras extraídas do bagaço, a condutividade térmica reduziu para 0,46 W/m.K (PANYAKAEV et al., 2011).

### **Fibra de Folhas de Abacaxi**

Segundo Asdrubali et al. (2015a), a produção de abacaxi é geradora de resíduos, em que um deles é composto por suas folhas, que atualmente são utilizadas para geração de energia (térmica) ou simplesmente incineradas. Esses processos causam problemas ambientais, como poluição do ar e do solo, e podem ser reduzidos ao encontrar um uso inovador deste material no setor de construção (ASDRUBALI et al., 2015a).

No Brasil, a produção de abacaxi apresenta números consistentes, e estima-se que no ano de 2015 o plantio da fruta foi de 69.165 (ha), com um total de 1.801.415,00 unidades, tendo o estado do Pará como o maior produtor do país (EMBRAPA, 2016). Tangjuank (2011) estudou as propriedades de isolamento térmico desenvolvendo um painel composto de folhas de abacaxi trituradas e secas, com aplicação de látex de borracha natural. As amostras testadas apresentaram densidade entre 178 e 232 kg/m<sup>3</sup> e condutividade térmica entre 0,035 e 0,043 W/m.K. Observou-se um menor valor de condutividade para a amostra com uma densidade de 210 kg/m<sup>3</sup> (Tangjuank, 2011).

Em pesquisa desenvolvida por Kumfu et al. (2012), se investigou a condutividade térmica a partir de uma placa composta por fibras de abacaxi e borracha natural, com a utilização da técnica de prensagem a

quente: neste caso, a amostra com densidade de  $338 \text{ kg/m}^3$  apresentou uma condutividade térmica de  $0,057 \text{ W/m.K}$  (KUMFU et al., 2012, citado por ASDRUBALI et al., 2015).

### **Casca de Arroz**

A produção mundial de arroz para a safra 2016/2017 está estimada em 481,5 milhões de toneladas (USDA), e dados da FAO apontam que o “consumo per capita mundial poderá chegar a  $54,2 \text{ kg/pessoa}$  na temporada 2016/17, maior que o da temporada anterior, de  $54,1 \text{ kg/pessoa}$ . O crescimento se deve ao aumento populacional na Ásia e à demanda otimista na África” (ALVES et al., 2017). No Brasil, a produção para período pode ter um crescimento de 8,5% em relação à safra anterior, colhendo 11,5 milhões de toneladas. O Rio Grande do Sul é o maior produtor do país, com previsão de colheita de 8,25 milhões de toneladas. Esta escala de produção gera uma grande quantidade de resíduos, que podem ser aplicados na composição de novos materiais (ALVES et al., 2017).

Em estudo desenvolvido por Yarbrough et al. (2005), foi avaliado o desempenho de isolamento térmico de painéis de aglomerados desenvolvidos com base na casca de arroz, apresentando condutividade térmica, a uma temperatura de  $24^\circ\text{C}$ , entre  $0,0464$  e  $0,0566 \text{ W/m.K}$ , em que o menor valor medido foi com densidade de  $154 \text{ kg/m}^3$  (YARBROUGH et al., 2005, citado por ASDRUBALI et al., 2015a).

### **Girassol**

No Brasil, a cultura de produção do Girassol está em desenvolvimento, principalmente para a produção no período da segunda safra (safrinha), podendo atingir uma produtividade média de  $1.500 \text{ kg/ha}$ , superior à média mundial. Desenvolvendo melhores condições de plantio, pode-se atingir uma produção aproximada com a da França, estimada em  $2.500 \text{ kg/ha}$  (EMBRAPA, 2017).

Evon et al. (2014) produziram um material a base do composto residual de girassol durante os processos de refinaria, utilizando para produção de um painel de isolamento térmico. A amostra que apresentou melhor desempenho ficou com uma composição bastante frágil, e condutividade térmica superior ao ideal para ser utilizada como isolamento térmico ( $0,0885 \text{ W/m.K}$ ) (EVON et al., 2014). Em pesquisa desenvolvida por Binici et al. (2014), utilizou-se os talos de girassol para produção de dois materiais isolantes, adicionados a resíduos têxteis, em que a condutividade térmica mensurada foi, respectivamente, igual a  $0,1642 \text{ W/m.K}$  e  $0,0728 \text{ W/m.K}$  (BINICI et al., 2014).

### **Palha**

A palha pode ser classificada como um subproduto do cultivo de cereais, e está disponível em grandes quantidades, a baixo custo, em um grande número de países. Tem sido um dos primeiros materiais a serem utilizados mundialmente em edificações sustentáveis. Normalmente, a palha utilizada para aplicação na construção de edificações é derivada do cultivo de trigo. (ASDRUBALI et al., 2015a).

Em pesquisa desenvolvida por Goodhew et al. (2005), foi mensurada a condutividade térmica de 0,067 W/m.K, para uma amostra desenvolvida com base de palha, e uma densidade de 60 kg/m<sup>3</sup> (GOODHEW et al., 2005). Pruteanu (2010) desenvolveu análises em dez amostras de palha, atingindo valores para condutividade térmica que variaram de 0,0515 W/m.K à 0,0740 W/m.K, com média final de 0,061 W/m.K.

Marcos (2015) desenvolveu estudo a base de palha (Figura 3), com amostra apresentando densidade de 70 kg/m<sup>3</sup>, a condutividade térmica registrada foi de 0,055 W/m.K, similar aos estudos anteriores. No mesmo estudo, se estudou a capacidade de isolamento térmico utilizando Ramo de Cebola, que mesmo apresentando uma densidade distinta, a microestrutura fibrosa é muito similar a palha. A condutividade térmica aferida no teste é idêntica à da palha (0,055 W/m.K) (MARCOS, 2015).



**Figura 3:** Palha e Ramo de Cebola. **Fonte:** Marcos (2015).

### Fibra da Palma de Óleo

A Palma de Óleo (*Elaeis guineensis*) é a oleaginosa de maior importância mundial, e a produção mundial de óleo é estimada em 62,35 milhões de toneladas (safra 2014/2015). A palma de óleo se consolida com maior produção de óleo no mundo, com média de cinco toneladas por hectare, superando as demais oleaginosas cultivadas (BORGES et al., 2016).

Shinoj et al. (2011) apresenta trabalhos em que se utilizam os cachos da planta para produção de fibras (Figura 4) (SHINOJ et al., 2011). Manohar (2012) investigou o efeito da densidade na condutividade térmica da amostra de fibra de palma de óleo, e o menor valor de condutividade térmica foi de 0,055 W/m.K, para uma densidade de 100 kg/m<sup>3</sup> (MANOHAR, 2012). Em estudo desenvolvido por Singh et al. (2003), a amostra pesquisada foi caracterizada por uma condutividade térmica de 0,293 W/m.K, alto para ser considerado como material isolante (SINGH et al., 2003).



**Figura 4:** Fibra da Palma de Óleo. **Fonte:** Asdrubali et al. (2015).

### Casca de Pinheiro

A casca de pinheiro pode se apresentar como uma alternativa viável para o desenvolvimento de material isolante. Segundo Marcos (2015), a casca de pinheiro da espécie pinheiros bravos (*pinus pinaster Ainton*), conforme Figura 5, apresentou uma densidade  $250\text{kg/m}^3$ , e condutividade térmica de  $0,069\text{ W/m.K}$ . A casca foi aplicada solta no preenchimento da placa do estudo, sem nenhum tipo de aglomerante (MARCOS, 2015).



**Figura 5:** Casca de Pinheiro *in natura* e triturado. **Fonte:** Marcos (2015).

As florestas plantadas no Brasil se estendem por, aproximadamente, 7 milhões de hectares, em grande parte com plantação de pinus e eucalipto. A produção é destinada à indústria de papel, celulose, carvão vegetal, madeira serrada, produtos de madeira sólida e madeira processada, além da borracha. A retirada da casca no momento do corte do reflorestamento, pode ser uma alternativa viável no desenvolvimento do produto para isolamento térmico.

### Sabugo de Milho

Segundo estimativas do Governo Brasileiro, a produção de milho para safra 2016/2017,

[...] deve alcançar 91,5 milhões de toneladas (37,5% de crescimento), com 29,9 milhões de toneladas para a primeira safra e 61,6 milhões para a segunda. A área total do milho deve alcançar 17,1 milhões de hectares (ampliação de 7,3%). No total, milho e soja representam quase 90% dos grãos produzidos no País.

Esta escala de produção, justificaria a utilização de sabugo de milho, que atualmente é tratado como resíduo, para utilização em isolamento térmico. Em dados apresentados por Pinto et al. (2011), algumas edificações de tabiques<sup>7</sup> portuguesas foram executadas utilizando sabugo de milho misturado e terra como

<sup>7</sup> Técnica de construção difundida em Portugal entre os séculos XVIII e XIX (Pinto et al., 2011).

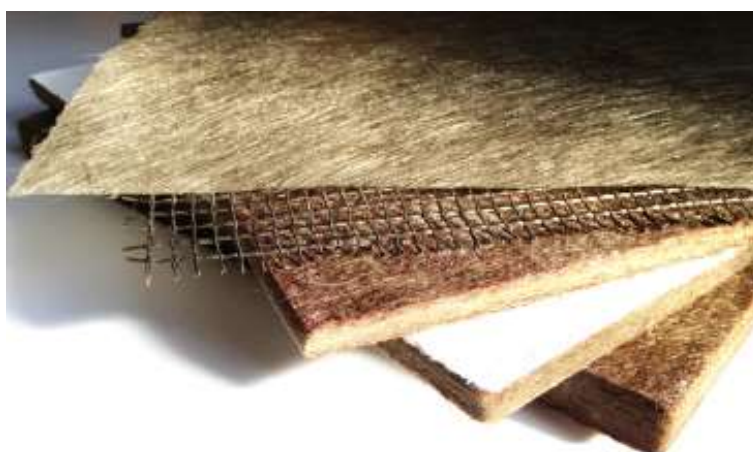


materiais de preenchimento nas alvenarias, com intuito de reciclar esses resíduos agrícolas, sem o viés de melhorar as propriedades de isolamento térmico (PINTO et al., 2011).

Segundo Pinto et al. (2012), em uma placa aglomerada de sabugo de milho triturado com aplicação de cola de madeira, a condutividade térmica medida foi de 0,101 W/m.K, ainda alto se comparado ao valor apresentado por Asdrubali et al. (2012) para ser um bom material de isolamento térmico (0,07 W/m.K) (PINTO et al., 2012; ASDRUBALI et al., 2012). Porém, em pesquisa desenvolvida por Marcos (2015), a placa desenvolvida sem a adição de cola de madeira apresentou o valor de 0,058 W/m.K para condutividade térmica, aferindo o material como viável para utilização, com densidade de 130 kg/m<sup>3</sup> (MARCOS, 2015).

### Fibra de Basalto

O processo de fabricação da fibra de basalto (Figura 6) é mais simples que o processamento da fibra de vidro, possuindo uma composição menos complexa, em que o basalto fundido flui do forno através de uma bucha platino-ródio com furos, e as fibras podem ser retiradas da massa fundida sob pressão hidrostática (FIORE et al., 2015).



**Figura 6:** Painel isolante com base de fibra de basalto. **Fonte:** Moretti et al. (2016)

Destaca-se que o processo de fabricação da fibra de basalto é semelhante ao das fibras de vidro, mas com menor consumo de energia e sem aditivos. A rocha de basalto extraída é esmagada, e logo após é derretida em um forno aquecido a gás, com temperatura de 1450°C. As fibras de basalto não têm nenhuma reação tóxica com o ar, água, ou outros produtos químicos, não são inflamáveis e à prova de explosão (MORETTI et al., 2016).

Os testes desenvolvidos apresentaram valores baixos de condutividade térmica. Para uma densidade de 165 kg/m<sup>3</sup>, o valor de condutividade chega a 0,0312 W/m.K. Considerando uma densidade de 187 kg / m<sup>3</sup>, a condutividade térmica é igual a 0,0320 W/m.K. Painéis com uma densidade inferior a 145 kg/m<sup>3</sup> não foram considerados nos testes devido à sua baixa resistência mecânica (MORETTI et al., 2016). Os autores pesquisados salientam que a fibra de basalto é uma substituição importante para o amianto (atualmente aplicado em partes da construção civil), e é adequado para aplicações que requerem resistência contra altas temperaturas, a ácidos e solventes, com durabilidade, resistência mecânica e baixa absorção de água. Por

serem resistentes, podem ser aplicadas como elemento de proteção contra incêndio (FIORE et al., 2015; MORETTI et al., 2016).

### Painel de Isolamento a Vácuo (VIP)

Relacionado a materiais inovadores, estudo desenvolvido na China aprofunda a análise sobre componentes para isolamento térmico, composto de materiais com fibra de vidro e de alumínio laminado (*Vacuum Insulation Panel – VIP*), com índice de condutividade térmica de 0,030 W/m.K (BOAFO et al., 2014). Em pesquisa realizada na Coreia do Sul, destaca-se a eficiência do VIP, porém, ressalta que os elementos utilizados como suporte para a instalação do material são causadores de pontes térmicas, ocasionando transferência de calor (BOAFO et al., 2015).

Mujeebu et al. (2016) desenvolveu estudo baseado em simulações computacionais com aplicação de diferentes materiais de construção. Em duas simulações propõe a utilização de VIP, em que se destaca a baixa condutividade térmica, com um índice de 0,003 W/m.k (MUJEEBU et al., 2016). Dados fornecidos pela fabricante de diversos modelos de VIP, a va-Q-tec (2016) descreve nas especificações técnicas dados relacionados a condutividade térmica, uma variação de 0,0028 W/m.k à 0,009 W/m.k, variando conforme a densidade e espessura da placa definida para aplicação (Figura 7) (VA-Q-TEC, 2016).



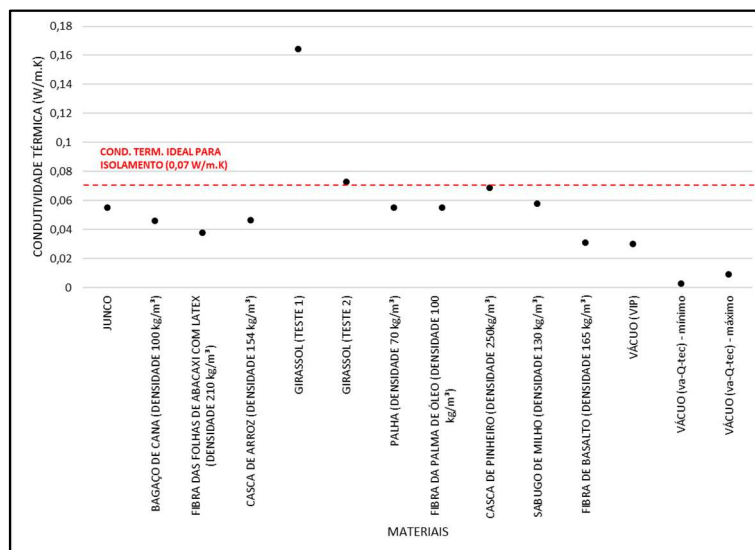
**Figura 7:** Painel de Isolamento a Vácuo (VIP – Modelo va-Q-vip). **Fonte:** va-Q-tec (2016).

### CONCLUSÕES

Com a crescente preocupação ambiental, destaca-se a importância da utilização de componentes construtivos que tenham menor consumo energético e de combustíveis fósseis no processo de fabricação, conforme destacado por Dutra (2010). Pode-se verificar no Gráfico 1, que para os materiais naturais analisados, grande parte apresentou um índice de condutividade térmica ideal para serem utilizados como isolamento térmico.

Assim, tornam-se relevantes os experimentos desenvolvidos com materiais naturais analisados neste estudo, sendo alternativas viáveis na substituição aos elementos fabricados de forma convencional. Os dados de condutividade térmica pesquisados serão fundamentais na utilização de simulação em projetos de

edificações, e na avaliação de desempenho energético. Porém, como os testes são desenvolvidos em laboratórios para determinação da condutividade térmica, surge a importância de serem aplicado e analisados em protótipos com escala real, aplicados juntamente a materiais de construção convencionais, para assim, avaliar a sua durabilidade, resistência, e seu comportamento como material de isolamento térmico, e principalmente, estudar o período de tempo em que o material mantém as propriedades isolantes.



**Gráfico 1:** Comparativo de condutividade térmica para materiais naturais.

Importante destacar que para grande parte dos elementos pesquisados, foi analisado o comportamento acústico dos materiais, com desempenho satisfatório ao serem comparados com materiais convencionais. Para estudos futuros, pode-se pesquisar informações de resistência ao fogo (incombustibilidade), fundamental para segurança em projeto de edificações, complementando com informações de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV<sup>8</sup>).

Em relação a incombustibilidade, é aconselhável que se siga o método da norma ISO 1182 – Reaction to fire tests for products – Non combustibility test (Testes de reação ao fogo para produtos - Teste de não combustão). Este método determina que, mesmo os materiais não sendo totalmente inertes, produzam uma pequena quantidade de calor e chama ao serem expostos a uma temperatura aproximada de 750°C (ISO, 2010). Com a realização deste teste, é possível verificar a segurança de materiais de construção, quanto a sua capacidade de propagação de incêndios em edificações.

Os dados relacionados ao ACV de elementos pesquisados, segundo Patzlaff et al. (2010), ao se analisar o aspecto ambiental na construção civil, “a sustentabilidade pode ser abordada com foco nos impactos gerados pelos materiais e sistemas construtivos”, podendo-se utilizar como ferramenta a ACV, por estar [...] “alinhada aos assuntos discutidos na Conferência Rio+10, em termos de quais ações devem ser planejadas para o desenvolvimento de políticas de produção e consumo numa forma de melhorar produtos e serviços oferecidos, reduzindo os impactos ambientais” [...], auxiliar na identificação de oportunidades para

<sup>8</sup> A ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas” (ABNT, 2001).



melhoria dos “aspectos ambientais de produtos em vários pontos de seu ciclo de vida” (da produção ao uso final); a selecionar os indicadores adequados para mensurar o desempenho ambiental de um produto/processo; e aspectos de divulgação de um produto (PATZLAFF et al., 2010). Salienta-se que “a ACV não aborda os aspectos econômicos ou sociais de um produto”, porém deve ser levado em conta em análises futuras, para se verificar a viabilidade de fabricação de novos produtos (ABNT, 2001).

## REFERÊNCIAS

- ALVES, L.; BRAGHETTA, M. A.; SBRAVATTI, A.. **Arroz/CEPEA**: Colheita deve pressionar valor no 1º semestre, mas estoque pode sustentar no 2º. Piracicaba: CEPEA, 2017.
- ASDRUBALI, F.; SCHIAVONI, S.; HOROSHENKOV, K. V.. Review of sustainable materials for acoustic applications. **Building Acoustics**, Londres, v.19, n.4, p.283-312, 2012.
- ASDRUBALI, F.; D’ALESSANDRO, F.; SCHIAVONI, S.. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v.4, p.1–17, 2015a.
- ASDRUBALI, F.; D’ALESSANDRO, F.; SCHIAVONI, S.; MENCARELLI, N.. Sound absorption properties of reed. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION, 22. **Anais**. Florença, 2015b.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-1**: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-2**: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-4**: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BINICI, H.; EKEN, M.; DOLAZ, M.; AKSOGAN, O.; KARA, M.. An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres. **Construction and Building Materials**, v.51, n.31, p.24-33, 2014.
- BOAFO, F. E.; CHEN, Z.; LI, C.; LI, B.; XU, T.. Structure of vacuum insulation panel in building system. **Energy and Buildings**, v.85, p.44–653, 2014.
- BOAFO, F. E.; KIMA, J.T.; CHEN, Z.. Configured cavity-core matrix for vacuum insulation panel: Concept, preparation and thermophysical properties. **Energy and Buildings**, v.97, n.15, p.98–106, 2015.
- BORGES, A. J.; COLLICCHIO, E.; CAMPOS, G. A.. A cultura da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil e no mundo: aspectos agrônômicos e tecnológicos - uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v.17, n.27, p.01-118, 2016.
- CAMBEIRO, F. P.; ARMESTO, J.; BARBEITO, F. P.; BASTOS, G.. Perspectives on Near ZEB Renovation Projects for Residential Buildings: The Spanish Case. **Energies**, v.9, n.8, p.2-16, 2016.
- DUTRA, M. R.. **Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas**: Análise do comportamento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Porto, 2010.
- EICHHAMMER, W.; FLEITER, T.; SCHLOMANN, B.; FABERI, S.; FIORETTO, M.; PICCIONI, N.; LECHTENBÖHMER, S.; SCHÜRING, A.; RESCH, G.. **Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries**. Vienna, 2009.
- EMBRAPA. **Abacaxi**. Brasília: EMBRAPA, 2016.
- EMBRAPA. **Girassol**. Brasília: EMBRAPA, 2017.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) – 2004-2017**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2017.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas**: Produção e Uso de Energia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2016.
- EVON, P.; VANDENBOSSCHE, V.; PONTALIER, P. Y.; RIGAL, L.. New thermal insulation fiberboards from cake generated during biorefinery of sunflower whole plant in a twin-screw extruder. **Industrial Crops and Products**, v.52, p.354-362, 2014.
- FIORE, V.; SCALICI, T.; DI BELLA, G.; VALENZA A.. A review on basalt fibre and its composites. **Composites Part B**, v.74, n.1, p.74-94, 2015.
- GOODHEW, S.; GRIFFITHS, R.. Sustainable earth walls to meet the building regulations. **Energy and Buildings**, v.37, n.5, p.451–459, 2005.
- IOS. International Organization for Standardization. **Building materials, non-combustibility test – ISO 1182**. Switzerland, 2010.
- JOURDA, F. H.. **Pequeno Manual do Projeto Sustentável**. Barcelona: Gustavo Gili, 2012.

MCNAUGHT, A. D.. **Compendio de terminologia química**. Madrid: Síntesis, 2005.

MANOHAR, K.; RAMLAKHAN, D.; KOCHHAR, G.; HALDAR, S.. Biodegradable fibrous thermal insulation. **J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng.**, Rio de Janeiro, v.28, n.1, p.45-47, 2006.

MANOHAR, K.. Experimental Investigation of Building Thermal Insulation from Agricultural By-products. **British Journal of Applied Science & Technology**, Londres, v.2, n.3, p.227-239, 2012.

MARCOS, J. S. L.. **Materiais Naturais Alternativos de Isolamento Térmico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2015.

MARQUES, B. R.; MARTINS, L. J. R.; ANDRADE, F. A.. Poliuretano derivado de óleo de mamona: de meio ambiente a biocompatibilidade. In: ENCONTRO CIENTÍFICO UNISALESIANO, 2. **Anais**. Lins: UNISALESIANO, 2009.

MORETTI, E.; BELLONI, E.; AGOSTI, F.. Innovative mineral fiber insulation panels for buildings: Thermal and acoustic characterization. **Applied Energy**, v.169, n.1, p.421-432, 2016.

MUNIZ, F. G. L.; CARACRISTI, I.. Urbanização, Conforto Térmico e Análise Sazonal Microclimática da Cidade de Sobral/CE. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v.17, n.1, p.4-17, 2015.

ONÉSIPPE, C.; PASSE-COUTRIN, N.; TORO, F.; DELVASTO, S.; BILBA, K.; ARSÈNE, M. A.. Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites: Thermal considerations. **Composites: Part A**, v.41, n.4, p.549-556, 2010.

PANYAKAEV, S.; FOTIOS, S.. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. **Energy and Buildings**, v.43, n.7, p.1732-1739, 2011.

PATZLAFF, J. O.; KERN, A. P.; GONZÁLEZ, M. A. S.. Projeto de Edificações com Apelo Sustentável: Elementos para A Construção de um Sistema de Apoio à Decisão. **Revista Produção Online**, v.10, n.3, p.479-503, 2010.

PRUTEANU, M.. Investigations Regarding the Thermal Conductivity of Straw. **Buletinul Institutului Politehnic Din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura**, v.56, n.3, p.9-16. Geórgia, 2010.

PINTO, J.; PAIVA, A.; VARUM, H.; COSTA, A.; CRUZ, D.; PEREIRA, S.; FERNANDES, L.; TAVARES, P.; AGARWAL, J.. Corn's cob as a potential ecological thermal insulation material. **Energy and Buildings**, v.43, n.8, p.1985-1990, 2011.

PINTO, J.; CRUZ, D.; PAIVA, A.; PEREIRA, S.; TAVARES, P.; FERNANDES, L.; VARUM, H.. Characterization of corn cob as a possible raw building material. **Construction and Building Materials**, v.34, p.28-33, 2012.

PROCEL. **Resultados PROCEL 2016: Ano Base 2015**. Brasília: Eletrobrás, 2016.

PROCEL INFO. **Edificação**. Brasília: Eletrobrás, 2016.

SINGH, K.; SAXENA, N. S.; SREEKALA, M. S.; THOMAS, S.. Temperature dependence of the thermal conductivity and thermal diffusivity of treated oil-palm-fiber-reinforced phenolformaldehyde composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v.89, n.13, p.3458-3463, 2013.

SHINOJ, S.; VISVANATHAN, R.; PANIGRAHI, S.; KOCHUBABUA, M.. Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review. **Industrial Crops and Products**, v.33, n.1, p.7-22, 2011.

SPINELLI, R.; ALVES, A.; KONRAD, O.. Cidade e Edificações: A busca por um novo modelo. **Destaques Acadêmicos**, Lajeado, v.5, n.4, p.173-186, 2013.

SPINELLI, R.; KONRAD, O.; CAMBEIRO, F. P.; AHLERT, E.; SPINELLI, F. B.; QUADROS, E. A.. Bioclimatic Strategies for The City of Lajeado/Rs-Brazil, Using Data Analysis of Regional Climate. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.21, n.2, p. 53-171, 2017.

TANGJUANK, S.. Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. **International Journal of Physical Sciences**, v.6, n.19, p.4528-4532, 2011.

VA-Q-TEC. **Painel de Isolamento a Vácuo: Vacuum Insulation Panel**. Würzburg, 2016.

VANTI, N. A. P.. **Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro de informação e a difusão do conhecimento**. Revista Ciência da Informação. Brasília, 2002.

WIEBECK, H.; HARADA, J.. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Artliber, 2005.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

## 4 TERCEIRO ARTIGO

### ***DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PHYSICAL PROPERTIES OF NATURAL AND INNOVATIVE MATERIALS.***

SPINELLI, R.; PASQUALI, Pedro H. D. A.; BERTOTTI, Angélica; LERIN, Dantara; PITOL, Alana F.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Development of Methodology for Determining the Physical Properties of Natural and Innovative Materials. **Advanced Materials Research**.

Artigo aceito para publicação na revista *Advanced Materials Research* – ISSN 1662-8985. O periódico possui fator de impacto 0,87 para o ano de 2018, segundo o *Research Gate*.

# DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PHYSICAL PROPERTIES OF NATURAL AND INNOVATIVE MATERIALS.

Mr. Rodrigo Spinelli\*<sup>1</sup>; Pedro Henrique Dall'Agnol Pasquali<sup>2</sup>; Angélica Bertotti<sup>3</sup>; Dantara Lerin<sup>4</sup>; Alana F. Pitol<sup>5</sup>; Dr. Faustino Patiño-Cambeiro<sup>6</sup>; Dr. Odorico Konrad<sup>7</sup>.

1 Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES. rspinelli@univates.br

2 Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. pedro.pasquali@universo.univates.br

3 Bacharel em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. angelica.bertoti@universo.univates.br

4 Bacharel em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. dantara.lerin@gmail.com

5 Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES. alana.pitol@universo.univates.br

6 Docente da Escola de Engenharia Industrial, Universidade de Vigo, Espanha. faustinopc@gmail.com

7 Docente do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES. okonrad@univates.br

**Keywords:** Thermal Conductivity; Corn cob; Soybean straw; Pínus shell; Vacuum; Slimstone

**Abstract:** The high energy consumption of buildings in the various sectors of society, the exploitation of natural resources and the use of fossil fuels make it necessary to research constructive alternatives that can reduce the impact on the planet. The use of thermal insulation in buildings is important for the reduction of energy consumption, however, most of the materials developed are manufactured generating high rates of pollution. This study starts with the use of natural elements (corn cob / soybean straw / pine bark) and innovative elements (vacuum / slimstone plate), in order to improve energy efficiency of buildings. The methodological development of the work began in the selection of materials and development of facade cladding boards. The determination of the thermal conductivity was analyzed using a heating plate and PT100 temperature sensors, determination of the apparent and actual density, and analysis of the material composition using Scanning Electron Microscopy (SEM). After the development of the analyzes, the natural slabs and recycled slimstone showed significant results, with thermal conductivity lower than 0.07 W / m.k.

## Introduction

The energetic crises triggered in the early 1970s highlighted a reality in which the development of constructive strategies in order to minimize energy consumption and to rationalize the construction methods of buildings, especially regarding the use of natural resources, was fundamental [20]. Muniz et al. [13] emphasizes the intensification of climate warnings, especially with the creation of the Rome club and the Stockholm Conference of 1972, which presents the concept of sustainable development, advocating the rational use of natural resources, since they are and the concern with the fragility of many natural environments. In November 2016, the Paris Agreement comes into force, aiming to reduce greenhouse gas emissions considerably, in order to reduce the average temperature increase of the planet, which is heading towards alarming levels [5].

According to data from the Energy Research Company [8] in Brazil, the Residential (29%), Commercial (19%) and Industrial (36%) sectors are responsible for 84% of energy consumption, being considered high [16]. In a report prepared by EPE [9], it identifies three major challenges to be addressed in reducing energy consumption: 1) energy efficiency of buildings to reduce greenhouse gas (GHG) emissions; 2) expansion of energy self-production; and 3) to meet annual energy consumption growth of 3% between 2014 and 2030 (disregarding self-production and including gains related to energy efficiency) [9]. It also reinforces the importance of the National Program for the Conservation of Electric Energy (PROCEL), which, through PROCEL, seeks to stimulate the use of energy efficiency concepts in buildings, supporting the feasibility of the Energy Efficiency Law (10.295 / 2001), " as contributing to the energy efficient expansion of the country's

building sector, reducing operational costs in the construction, use and maintenance of real estate "[17].

According to data from PROCEL INFO [17], projects for new buildings that tend to use energy efficiency strategies have a saving of up to 50% in energy consumption, and remodeling projects can save up to 30%. In public buildings, about 70% of the energy is used in artificial lighting and air conditioning, which reinforces the importance of adequate treatment of closures in walls and openings, using thermal insulation materials, suitable for the project [17].

### **Determination of Thermal Conductivity**

The Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) elaborated the NBR 15220, aiming at the standardization of the thermal performance of materials, presenting the necessary indices to be able to measure the Thermal Performance of Buildings. The thermal conductivity index ( $\lambda$ ) is determinant for such performance, and according to NBR 15220-1 is the "physical property of a homogeneous and isotropic material, in which there is a constant heat flux, with a density of  $1 \text{ W} / \text{m}^2$ , when subjected to a uniform temperature gradient of 1 Kelvin per meter, and its unit of measure is  $\text{W} / (\text{mK})$  [3]. The NBR 15220 follows the international standards EN 12664 [5], EN 12667 [6], EN 12939 [7] and ASTM C518 [4] for the testing of high and low thermal resistance.

According to Asdrubali et al. [2] a material can be considered as a thermal insulator if its thermal conductivity index is less than  $0.07 \text{ W} / \text{m.K}$ . Wiebeck et al. [25] presents thermal conductivity data of synthetic polymers (EPS and XPS -  $0.038 \text{ W} / \text{m.K}$ ). These materials have good fire resistance, acoustic insulation and do not propagate fungi. It is noteworthy that in its composition, the polymers (PU) have isocyanates, volatile substances, which can pose a health risk if inhaled [2]. With the determination of the Thermal Conductivity of a material, it becomes possible to calculate the Thermal Resistance (R) of elements and components, the Thermal Transmittance (U), the Heat Flow Density (q) of an opaque closure, and Heat Flow (Q) [3].

NBR 15220-4 details the method for determination of conductivity and thermal resistance of solid materials such as the Hot Plate Mechanism [3]. The material samples for the tests shall be flat and homogeneous and thus subjected to a known heat flux, the hot plate, which dissipates heat through a heating resistor, also distributing the heat through the sample area, it being important to know the power dissipated by the heating resistor [19].

According to Moura [12], there is the flowmeter method, like the protected hot plate method, differing only in the form of measurement of the heat flux, being measured by pre-calibrated thermo flowmeter sensor. Simioni [19] describes the hot-wire or hot-wire method used to measure the thermal conductivity of homogeneous materials, either solid or liquid, and wet materials. Moura [12] also describes the Water Calorimeter method, where the temperature measurement is performed at the inlet and outlet of the fluid that runs through the cold plate through thermocouples. The value of the heat flow through the samples is measured by the thermal capacity per unit volume.

However, for the use of the presented methods, there is a need for special equipment, which represents a high financial investment. Marcos [11] developed an experimental method for measuring thermal conductivity in which a mold was replaced by a window, composed of a 2.00 cm thick wooden frame and two sheets of glass with a thickness of 1.00 mm, and internal spacing of 3.00 cm. Samples of compacted and dried materials are applied in the space between the glass plates. At the end of the application of the material, the mold is fixed to the wall with expanded polyurethane, to avoid air changes between the inner and outer space (Figure 1).



Figure 1 - Experimental Method.

The heat flow measurements are performed by two thermo flowmeter meters and four surface temperature sensors, all connected to a datalogger that continuously records the value of the heat flux and surface temperature throughout the test. Two thermo hygrometer sensors are also used, one in the external environment and the other internal, for measuring temperature and relative humidity. Ideal test conditions are dry weather and low outdoor temperatures or dry weather and elevated outdoor temperatures. To guarantee the flow of heat, a heating or cooling device is installed inside the test room. The test shall be carried out over 7 days in which the surface temperature, heat flow, indoor and outdoor temperatures and relative humidity are recorded at 10-minute intervals for each sample and applying the collected data in equations, the thermal conductivity of the materials can be determined [11].

Simioni [19] has developed a technique that consists of the production of a heat flux using a heat induction plate and a cold plate. For the experiment we used: 1) 3 kg steel plate, whose function is to ensure that there was no air between the samples and the flowmeters; 2) heater resistance of 9.64 Ohms, powered by an adjustable voltage-current source; 3) flowmeters for measuring the flow of heat; and 4) duralumin cold plate with fins dissipating heat to the environment. T-type thermocouples were installed in the flowmeters to measure the temperatures on the sample faces. Laterally, 1 cm thick insulation composed of pieces of expanded polystyrene and cotton was applied, avoiding heat leakage (Figure 2).

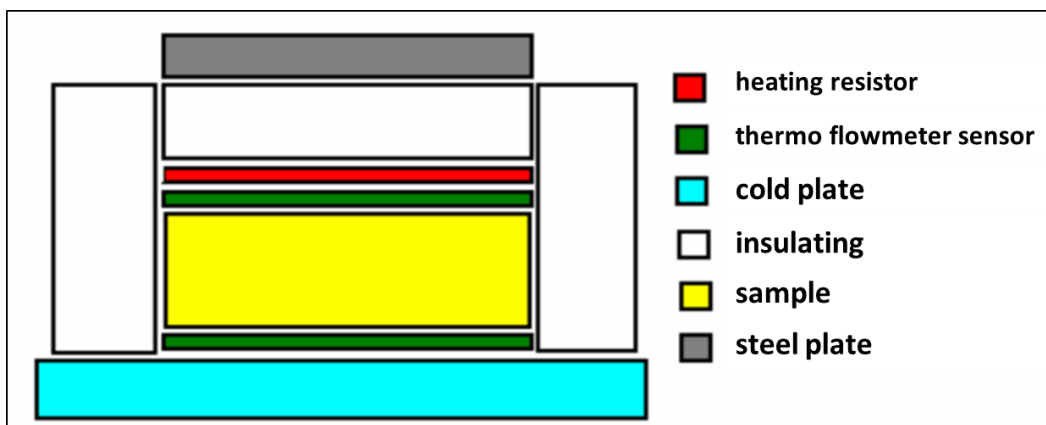


Figure 2 - Assembling the Experiment

The temperature in the test environment was maintained artificially through an air conditioning system, and the thermal conductivity was obtained by equation, by measuring the heat flux, temperature difference between the sample faces and the thickness of the sample [19].

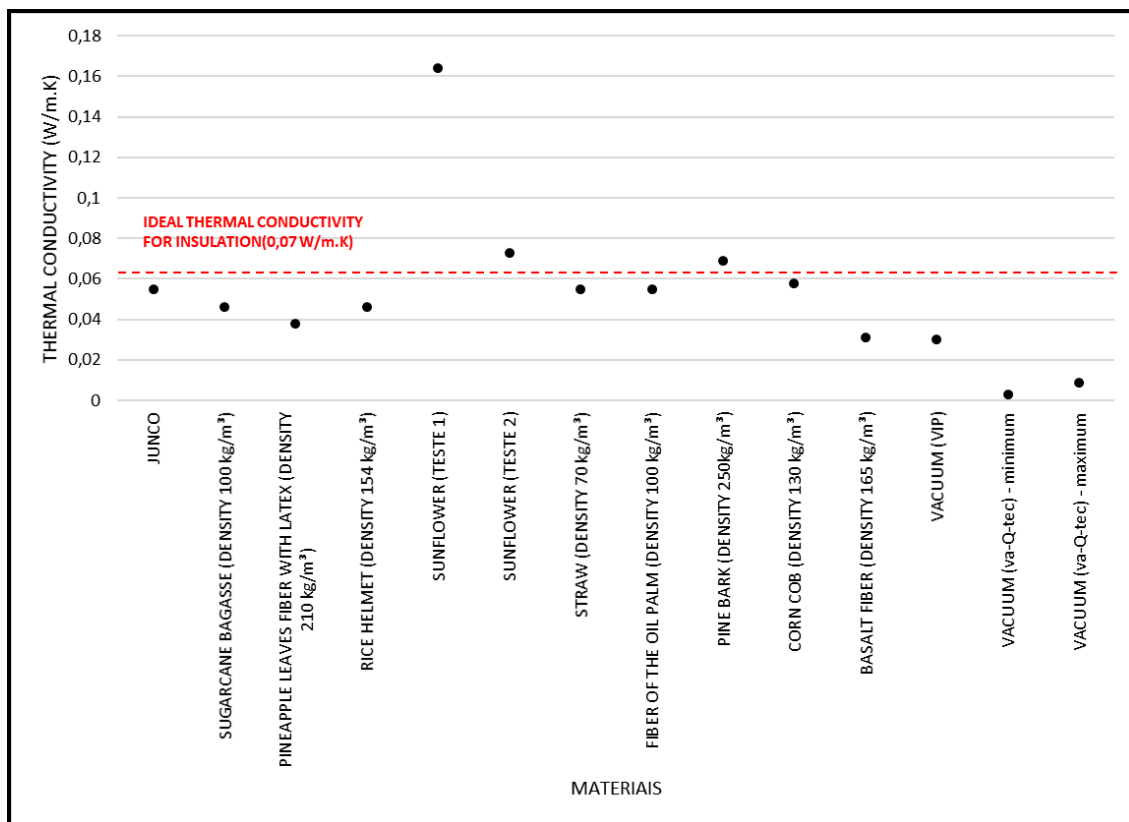
## Thermal Conductivity Indices

In a study developed by Spinelli et al. [21], applying EPS in prototype, with the Etics (External Thermal Insulation Composite System) façade system, a reduction of 81% in Thermal Transmittance (U) and 68% in energy consumption was achieved, compared to a prototype without system, greatly interfering with the design of air conditioners, reducing the Heat Flow (Q). Internal and internal temperature measurements were found to be milder and more stable, compared to the external environment and to the non-insulated prototype.

Tangjuank [24], developed material for thermal insulation using fibers of the pineapple leaf. From the ASTM C177 - 97, Protected Hot Plate method, determined the thermal conductivity of the developed material of 0.039 W / mK, for density of 210 kg / m<sup>3</sup>. He developed Scanning Electron Microscopy analysis to analyze the surface of the material, and thus to verify the distribution of the fibers, and the greater the incorporation of air between them, the better the thermal performance.

Pruteanu [18] developed analyzes on ten samples of straw, reaching values for thermal conductivity ranging from 0.0515 W / mK to 0.0740 W / mK, with a final average of 0.061 W / mK, which are determined using methodology specially developed for the study. With tests developed for material based on Tamper Fibers, Ali & Alabdulkarem (2017), applied the method of Heat Flow Measurement (ASTM C518 - 17), with a result of 0.070 W / mK for thermal conductivity, with a density of 260 kg / m<sup>3</sup>. The analysis was developed from the Scanning Electron Microscopy, using the ASTM method E1508-98.

Further research indicates unconventional materials, such as natural or innovative materials, to be applied in civil construction as thermal insulation, with the main advantage being that they are renewable and have a low impact on the generation of pollution at the moment of production, as can be shown in the Graphic 1 [2, 22].



Graph 1 - Comparative thermal conductivity for natural materials.

## Objective

The objective of this study was to develop a low-cost alternative method for the determination of the thermal conductivity of building materials. These materials were molded from pine bark

(Elliottii), soybean (*Glycine max*), corn cob (*Zea mays*), mortar boards with acrylic and vacuum box interior, and recycled slimstone boards. For the determination of the thermal conductivity it is important to check the density of the proposed materials.

### Methodology

Based on the study developed by Simioni [19], the study develops an experimental apparatus for determination of thermal conductivity of materials. It is important to note that in parallel with the determination of conductivity, it was necessary to analyze the physical properties of the elements surveyed, according to the organization chart represented in Figure 3. The methodology in the steps of: 1) Preparation of the Samples; 2) Apparatus for Determination of Thermal Conductivity; 3) Density test; and 4) Microscopic Analysis.

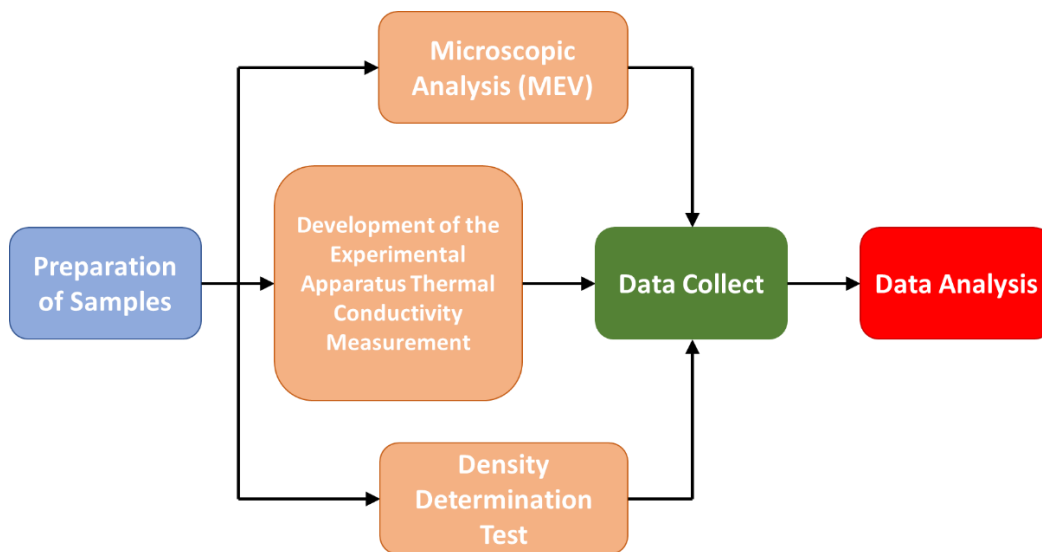


Figure 3 - Methodological Organization Chart.

### Sample preparation

#### Natural materials

The research was initiated by the preparation of samples of natural materials, using as base the corn cob (collected in tillage in the Municipality of São Pedro da Serra / RS), Soya Straw (collected in tillage in the Municipality of Nova Brescia / RS), and Bark of Pinus (collected in the reforestation area of the Municipality of Poço das Antas / RS). The collected materials were selected, contaminant elements were removed and different parts of the material to be analyzed. The plate preparation and modeling stage was developed by the Construction Technology Laboratory (LATEC), located in Building 17 of the University of Vale do Taquari (UNIVATES).

Soybean straw was selected, removing impurities such as soil, soybeans, organic matter and other types of vegetation, retaining only the straw. The pine bark was crushed into small pieces, ranging in size from 1.00 to 2.5 cm, to avoid disintegration of the material, and reducing the possibility of creating large layers of air between the parts. The corn cob was ground into small pieces of 1 to 2 mm.

After selection and cleaning of the materials, they were conditioned in metallic forms, and molded with dimensions of 40x30 cm, and 2cm thick. In order to achieve rigidity of the material, and to be in the format of plates, was applied Sodium Silicate [14] on the surface, and mixing the elements until they became homogeneous. For the material not to be adhered in the form, it was lined with parchment paper (Figure 4).





Figure 4 – Material molding.

Three plates were made for each material, where they were weighed dry, and again weighed after the sodium silicate was applied: A) soy straw with the ratio of 200g of soybean straw, and 363.33g of sodium silicate; B) pine bark in the proportion of 916g of Pinus bark, and 992g of sodium silicate; and C) maize corn in the proportion of 645 g of corn cob and 633 g of sodium silicate. At the end of the molding process the plates were placed in the oven for drying at a constant temperature of 60 ° C for five hours (Figure 5).



Figure 5 - Plates Completed.

### Composite materials

The mortar board with acrylic box and vacuum interior was collected from the study developed by Spinelli et al. [23]. As shown in Figure 6, the plates are composed of: a) Acrylic plate with laser cutting technology; b) Compressor and manometer for withdrawal of air - vacuum; c) First layer of mortar; d) Insertion of the acrylic box with vacuum layer wrapped with glass fiber cloth; e) Second layer of mortar; f) Proposed element finalized. The total thickness of the plate was 4 cm, were taken from a prototype used for thermal comfort test, in which the study's sequence is important to determine the thermal conductivity of the material, and thus to analyze its efficiency in more depth [23].

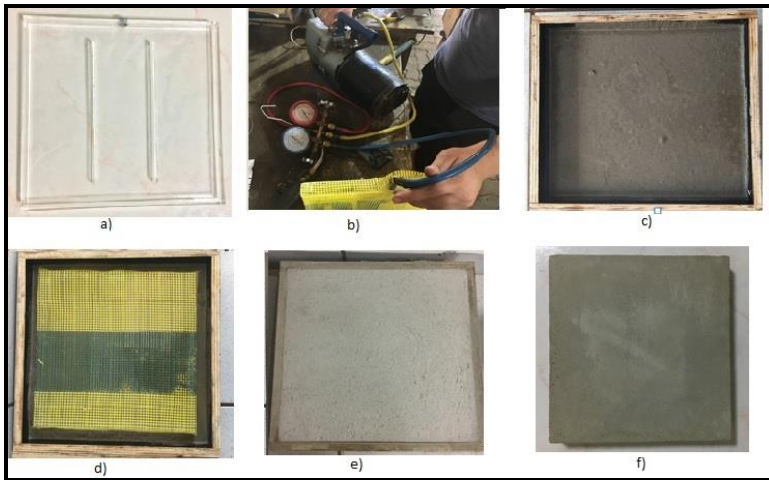


Figure 6 - Acrylic and Vacuum Interior Mortar Plates.

The material analyzed for slimstone, is produced by the company SlimStone, located in the municipality of Garibaldi / RS. They consist of a 5 mm granite or marble slab, a special composite laminate layer, a natural composite layer, and a special composite laminate layer, total thickness 2 cm [10]. The composite is hive-shaped, made of polypropylene, allowing greater product economy and lightness, according to Figure 7 [15].

The samples evaluated come from cuts in the production system from which they would be sent to landfill. Because it is a composition of different materials, there is no adequate classification of the type of waste, and what is the best destination, and therefore it was decided to study the feasibility of using the material as thermal insulation, due to the amount of air contained in the component of polypropylene in hive format.



Figure 7 – Slimstone (Top and front view).

### Apparatus for Determination of Thermal Conductivity

The experimental apparatus developed for the study is based on the research of Simioni [19], but using different elements, in order to develop an analysis with equipment of easy applicability. The apparatus was performed using a heat induction plate (heating plate), two temperature sensors, sample plate, cold aluminum plate, and insulating material (EPS). The experiment was assembled as shown in Figure 8, and was wrapped by a 2 cm thick wooden box and insulation material, so that no thermal variation occurred in the analyzed material.



Figure 8 - Device Assembly.

The heating plate used in the experiment is manufactured by Marconi, model MA - 38. It has dimensions of 40 cm in length and 30 cm in width, plate platform manufactured in laminated aluminum and its thickness is 22 mm. The temperature regulation is by means of an electromechanical controller with regulation of 50°C to 300°C, with variation of +/- 5°C, its consumption is of 2400W - 220V.

For data collection, two PT-100 temperature sensors connected to a FieldLogger 128k datalogger and USB-i485 model converter, both of the Novus brand, were used. Data is collected using the FieldChart software, transferred to spreadsheet format file, and analyzed later. The software was programmed so that the data collection of the temperature sensors occurred every 1 minute, in which for each sample a hundred data were collected. In this way, each sample remained 1 hour and 40 minutes under test.

The thermal conductivity tests of the materials were developed at the Bioreactors Laboratory, located in Building 11 of UNIVATES. The internal temperature of the laboratory in which the tests were performed remained in the range of 20 ° C for all collections, using an air-conditioning system, keeping the same laboratory conditions for all the tests.

### Thermal conductivity determination

According to Simioni [19] the thermal conductivity, through this method, is obtained through the measurement of the following parameters: A) heat flow per unit area that crosses the sample; B) temperature difference between the faces of the sample; and C) sample thickness. Thus, the thermal conductivity is calculated through Equation 1.

$$\lambda = \frac{q \cdot e}{\Delta T}$$

at where:

- $\lambda$  is the thermal conductivity in (W / m.k);
- $q$  is the heat flow through the samples (W / m<sup>2</sup>);
- $e$  is the thickness of the sample (m);
- $\Delta T$  is the temperature difference between the hot and cold faces of the samples (K).

The heat flow ( $q$ ) through the samples is determined by dividing the amount of energy supplied by the heating plate (W) by the surface area of the samples. The thickness ( $e$ ) of the samples of soybean straw, pine bark and corn cob were measured with a Marberg digital caliper, with resolution of 0,05mm. Three measurements were performed on each side of each sample and the mean values were measured.

The temperature difference ( $\Delta T$ ) between the faces of the samples was determined by the sensors, positioned specifically prior to the sampled material to obtain the hot face temperature and the second sensor after the sample to obtain the thermal data of the cold face. Thus, to conclude the calculation of the thermal conductivity, three ranges of average temperature in the range of 40°C, 50°C and 60°C in the thermostat of the heating plate were arbitrated. For the calculation of the thermal conductivity, three ranges of average temperature in the range of 40 ° C, 50 ° C and 60 ° C

were arbitrated in the samplings of the mentioned temperatures, obtaining the data referring to the thermal behavior of the cold and hot faces to determine the temperature difference denominated  $\Delta T$ .

### **Density Testing**

The density indices are directly related to the thermal conductivity of materials to be used as thermal insulation. According to Lamberts, Dutra and Pereira [26], the thermal conductivity depends on the density of the analyzed material, the lower the material density, the lower its thermal conductivity.

For the development of the density tests, it was sought to determine the apparent density and the actual density of the natural materials. The methodology for determining bulk density consists of compacting the materials into a known 25 ml beaker. For that the straw was cut into smaller pieces, the corn cob and the pine bark were ground. After the compacted materials in the test tube, the mass of the assembly (sample + test) was determined. Finally, to obtain the bulk density, the mass of the sample (sample + beaker of the beaker) was determined and divided by the volume of the beaker.

In the actual density test, the materials were packed into a 25 ml capacity beaker, however, the beaker was filled with deionized water until the volume matched the solids volume. Subsequently, all contents of the beaker were transferred to a funnel, fitted with a 47 mm diameter glass fiber microfilter in its nozzle, filtering the material of the beaker with the aid of a vacuum pump. After filtration, the withdrawn liquid was discounted from the sample volume, then the mass ratio of the sample to the volume occupied by it was redone, resulting in the actual density. Density tests were performed at the Bioreactors Laboratory, located in Building 11 of UNIVATES.

It should be noted that the density test for the Vacuum and Slimstone Interior Mortar slabs was not performed due to the industrial origin of the material.

### **Scanning electron microscopy analysis**

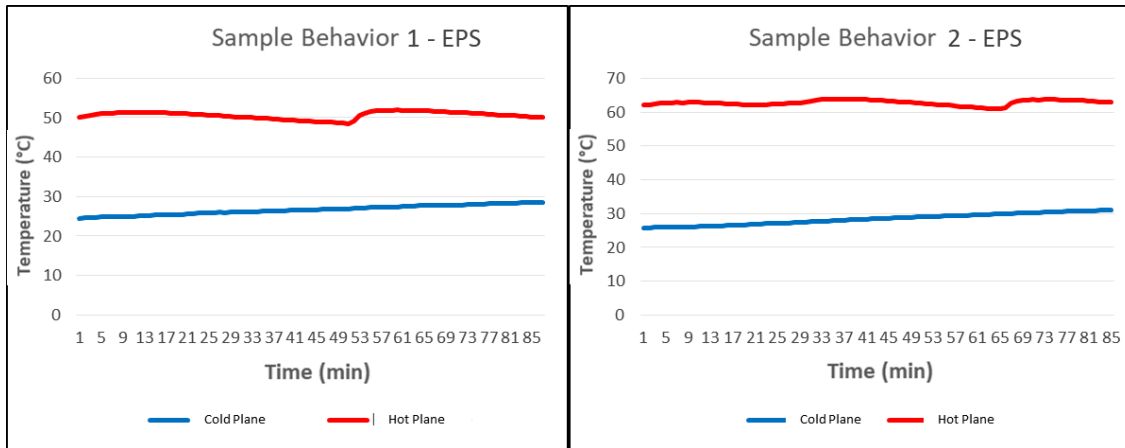
The analysis performed by Scanning Electron Microscopy (SEM) was developed in the Laboratory of Food Chemistry / CTPPA, located in Building 20 of UNIVATES. Initially, samples of the materials with dimensions of 5mm of the plates of Corn Snack, Soybean Straw and Pinus Peel were separated. After the selection, the samples were arranged in stubs and adhered with double face carbon tape, being metalized with gold in the equipment of the manufacturer Quorum, model Q150RES. After the metallization was completed, the Model LS-10, Carl Zeiss brand equipment was used to perform the SEM, using a secondary electron detector and 10 kV EHT. The scales of the presented images are in 200 $\mu$ m and 20 $\mu$ m, EHT of 10.00 kV and WD of 8.5 mm.

### **Data analysis**

#### **Experimental system calibration**

For an experimental technique, the two EPS plates were tested, and this material has a known thermal conductivity (0.04 W / m.k) and expressed in NBR 15220 part two [3]. The plates have dimensions of 40 x 30 x 2 cm. The temperature data are expressed graphically by the temperature range in which they were included. Graph 2 presents a temperature evolution on the hot and cold faces of the sample in the range of 50 ° C for Sample 1 and 60 ° C for Sample 2.





Graph 2 - Thermal Behavior EPS.

In order to establish the temperature difference parameter to be used in the calculation of the thermal conductivity (Equation 1), the average of the hot and cold faces recorded in the interval of 1h25min was determined, discarding the initial 15min of the records, the period in the hot plate needed to maintain a constant of temperature. Table 1 presents these results of the temperature averages (the initial mean temperature being the cold face and the mean final temperature the hot face), and the thermal conductivity of the material determined for each temperature range.

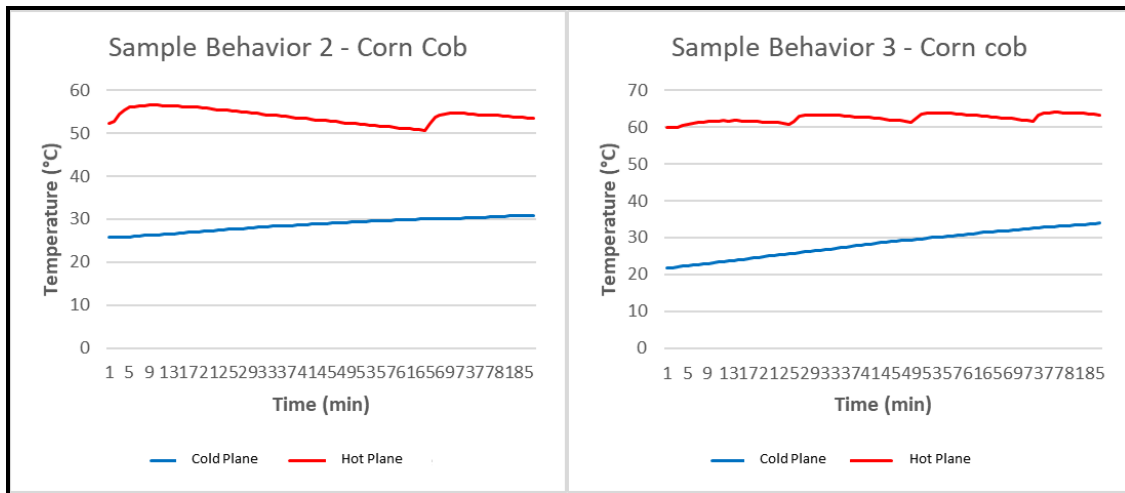
Table 1 - Test result for reference material samples

EPS	Average initial temperature $T_i$ (°C)	Average final temperature $T_f$ (°C)	Thermal conductivity $\lambda$ (W/mK)
Sample 1	26,60	50,60	0,067
Sample 2	28,30	62,60	0,044

According to the presented data, the thermal conductivity for temperature in the range of 60°C is 0.044 W / mk, being closer to the value expressed by NBR 15220 [3], being only 10% higher, which can be a margin of difference acceptable, given the type of experiment. In the study developed by Marcos [11], the author uses Extruded Polystyrene (XPS) as reference material and concludes that the test mold proposed by it is reliable and can be applied to determine thermal properties of materials, even if there is a change of approximately 10% between the values established in standard for conductivity of the XPS, in comparison to the results researched in its tests. Thus, the experimental technique developed in this study is reliable when the material sample is applied to the test with average temperature close to 60 ° C.

### Corn cob

After analyzing the reference samples, the corn cob plates were assayed. Graph 3 presents the evolution of the temperature in the hot and cold faces of the samples with average temperature in the range of 50 ° C and 60 ° C. Based on the averages of the temperatures per range used for the calculation of the thermal conductivity, the values of thermal conductivity for each of them are shown in Table 2. When analyzing the results, it was determined that the value of the thermal conductivity for corn cob plates is 0.052 W / m.k, with the parameter that the temperature of the system is 60 ° C. The value found is like that measured by Marcos [15], in which the calculated thermal conductivity value was 0.058 W / m.k.



Graph 3 - Thermal behavior of Corn cob.

Table 2 - Test result for corn cob samples

CORN COB	Average initial temperature $T_i$ (°C)	Average final temperature $T_f$ (°C)	Thermal conductivity $\lambda$ (W/mK)
Sample 1	24,50	43,50	0,086
Sample 2	28,60	54,00	0,066
Sample 3	28,50	62,60	0,052

When the density test of Sample 3 of the Corn cob plates was developed, the apparent density, measured in a 25 ml beaker, was 179 kg / m<sup>3</sup>, and when determining the actual density, it was determined the value of 228 kg / m<sup>3</sup>. It is worth noting the similarity with the data of Marcos [11], in which the density of the corn cob sample was 180 kg / m<sup>3</sup>.

The sample images generated with the aid of MEV for corn cob (Figure 9), present a large number of small spaces, which function as a reservoir of vegetable sap, where at the moment the material is dry, these spaces become complete of air, presenting similarities with the Styrofoam itself. This incorporation corroborates with the result of localized thermal conductivity of 0.052 W / m.k.

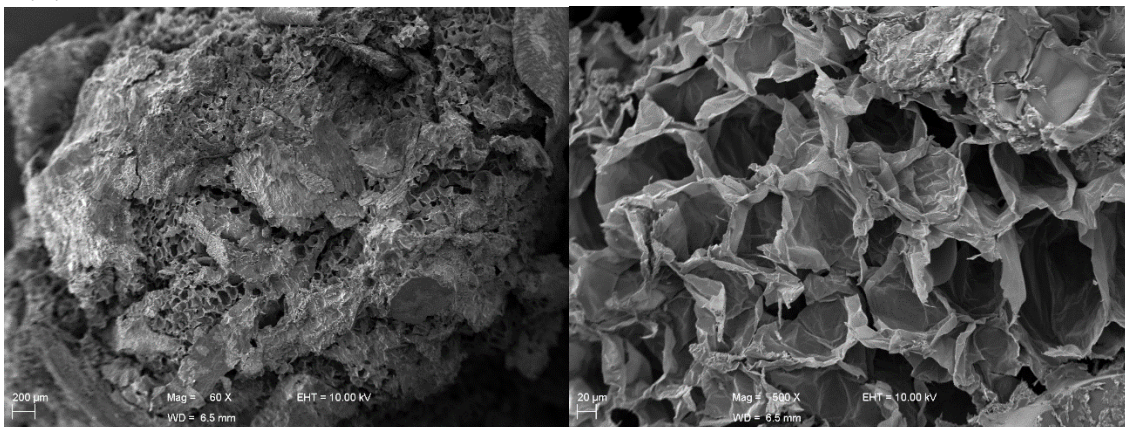
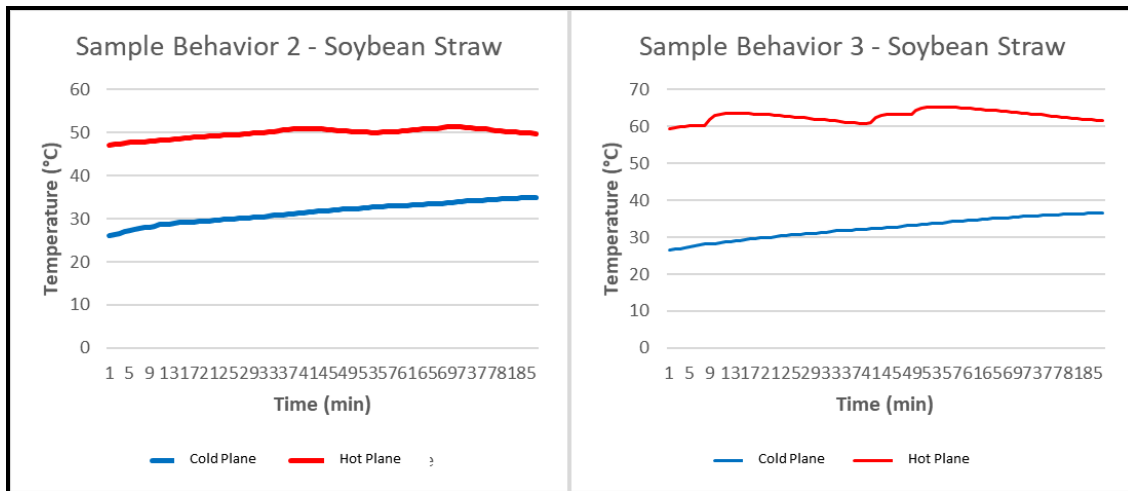


Figure 9 - SEM images Corn cob (Scales: 200µm and 20µm).

### Soy straw

For the tests developed with the Soybean Straw samples, the temperature data on the hot and cold faces of the samples are shown in Graph 4, the averages of 50 ° C and 60 ° C. According to data analyzed from the tests carried out for soybean straw plates, the conductivity for the average temperature of 60 ° C was 0.058 W / m.k (Table 3). Compared to the data presented in Graph 1, the conductivity of soybean straw resembles the conductivity of other materials of plant origin such as

reeds, whose thermal conductivity comprises from 0.045 to 0.056 W / mk and the straw whose thermal conductivity varies between 0.045 to 0.07 W / mk, this being not of soybean, but of low grass [22].



Graph 4 - Thermal Behavior Soybean Straw.

Table 3 - Test result for soybean straw samples

SOYBEAN STRAW	Average initial temperature $T_i$ (°C)	Average final temperature $T_f$ (°C)	Thermal conductivity $\lambda$ (W/mK)
Sample 1	26,90	44,50	0,100
Sample 2	31,90	50,10	0,081
Sample 3	32,50	62,90	0,058

The density test of the Soybean Straw plate, the apparent density measured in a 25 ml beaker, was 162 kg / m<sup>3</sup>, and in the test to determine the actual density, the value of 238 kg / m<sup>3</sup>, similar to the given by Marcos [11], where the density of the grass straw was 260 kg / m<sup>3</sup>.

With the aid of SEM, the images generated from the soybean straw sample (Figure 10), aid in the analysis of leaf composition in which each vertical element is very similar to a tube. In its natural state, the inner space of this tube is filled by sap. At the moment the straw is dried, the tubes are hollow, helping to reduce the conduction of heat. It is emphasized that for plate composition, a large amount and proximity of the straw leaves is important, so that the heat does not pass directly between them.

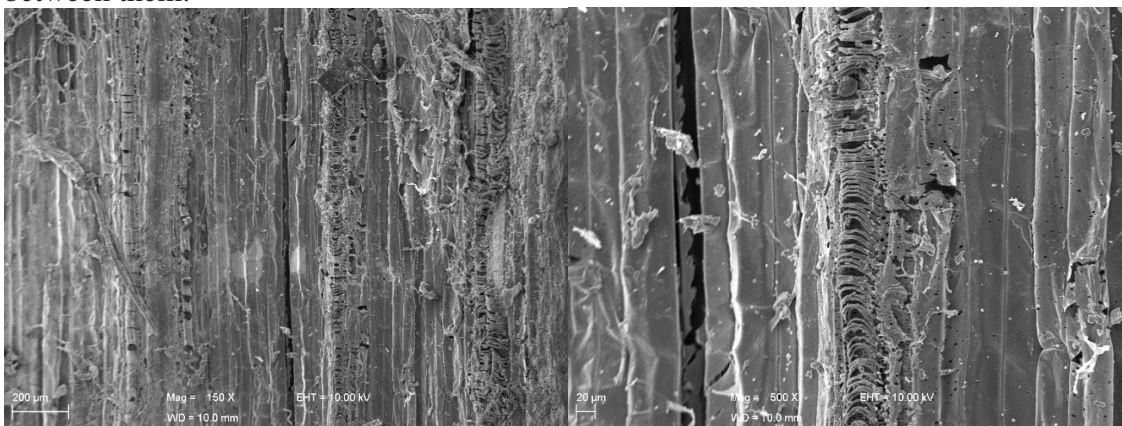
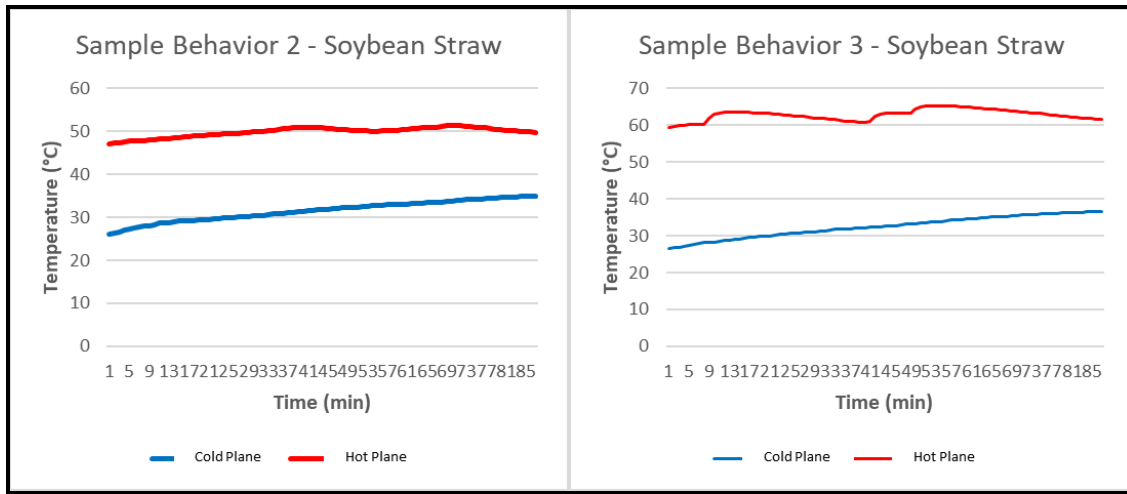


Figure 10 - MEV images Soybean Straw (Scales: 200µm and 20µm).

## Pinus bark

The plates developed from the Pinus Bark presented a good performance as a possibility of use for thermal insulation material. The data presented in Graph 5 represent the performance for average temperatures of 50 °C and 60 °C.



Graph 5 - Thermal behavior Pinus bark.

The results obtained in the determination of the thermal conductivity were 0.061 W / mk and, compared with Graph 1, the conductivity value for the pine bark was approximately 0.07 W / mk (Spinelli et al., 2018b ; We highlight here the similarity of the studied plant species, and the proximity of the result found, being applied different tests, as presented by Marcos [11].

Table 4 - Test result for samples of pinus bark

PINUS BARK	Average initial temperature $T_i$ (°C)	Average final temperature $T_f$ (°C)	Thermal conductivity $\lambda$ (W/mK)
Sample 1	26,70	41,10	0,127
Sample 2	28,10	52,40	0,075
Sample 3	33,20	63,10	0,061

The results for the apparent density and actual density tests were, respectively, 232 kg / m<sup>3</sup> and 331 kg / m<sup>3</sup>. Compared to the study by Marcos [11], the measured density of the material was 310 kg / m<sup>3</sup>.

When generating SEM images of the Pinus bark (Figure 11), they present an interesting similarity with corn cob, when creating small air spaces in the form of spheres, but between layers of bark. Of course, these spheres are more resistant than those of the cob, and stand out well the growth of the bark of the tree. Also, because it is the outer shell of the tree, it does not contain the sap, and it becomes a widely usable and renewable material.



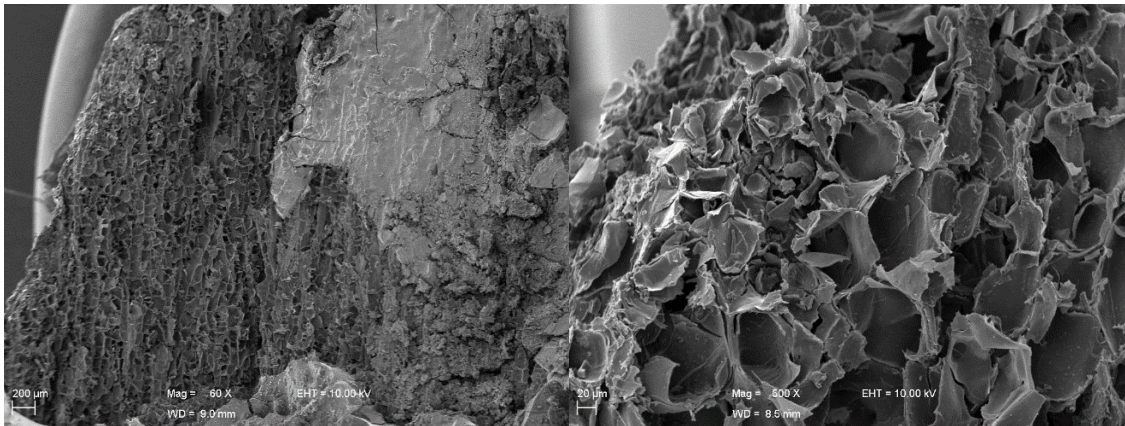
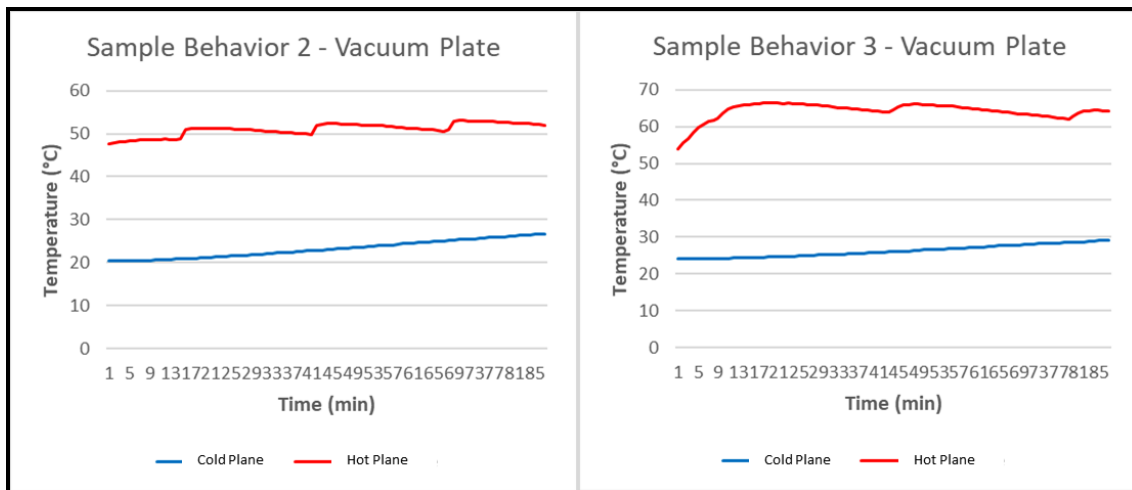


Figure 11 - MEV images Pinus bark (Scales: 200μm and 20μm).

### Mortar Board with Vacuum Interior

The tests developed for the Vacuum Interior Mortar Plates, when comparing the collected data for average temperature of 50 ° C and 60 ° C, as represented in Graph 6, have similar thermal behavior, with variation of temperature of the Cold Plate in the range of 20 ° C to 30 ° C.



Graph 6 - Thermal Behavior Vacuum Plate.

For this test, it is important to highlight that this proposed coating plate is a composition of different materials with different thermal conductivity indices, in which the mortar is the one with the highest value, of 1.15 W / mk, according to the NBR 15220 [3], which highlights the performance of the vacuum interior layer. When applying the data collected in the test in Equation 1, the determined thermal conductivity was 0.102 W / m.k, index close to the natural materials analyzed, and significantly lower when compared to the mortar index.

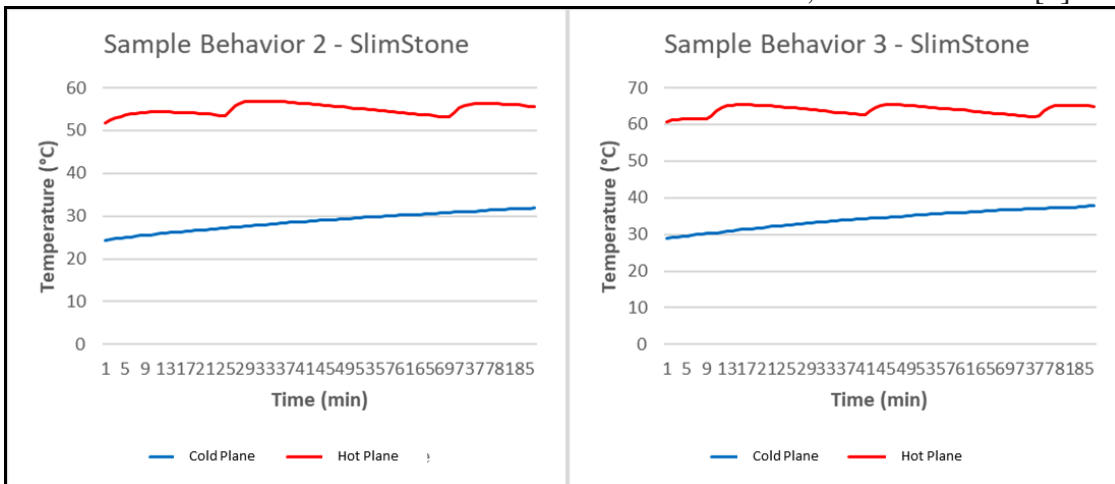
Table 5 - Test result for vacuum plates with acrylic element

VACCUM BOARD	Average initial temperature $T_i$ (°C)	Average final temperature $T_f$ (°C)	Thermal conductivity $\lambda$ (W/mK)
Sample 1	24,50	42,10	0,222
Sample 2	23,70	51,60	0,138
Sample 3	26,30	64,70	0,102

### Slimstone board

Slimstone slab tests present significant results when measuring cold plate and hot plate temperatures. Graph 7 presents a similar heat transfer behavior for the averages of 50 ° C and 60 °

C. When determining the thermal conductivity of the material, the value of 0.063 W / m.k (Table 6), below the recommended value for thermal insulation materials, of 0.07 W / m.k [2].



Graph 7 - Slimstone Thermal Behavior.

Table 6 - Test result for SlimStone samples

SLIMSTONE	Average initial temperature $T_i$ (°C)	Average final temperature $T_f$ (°C)	Thermal conductivity $\lambda$ (W/mK)
Sample 1	27,80	45,10	0,108
Sample 2	28,70	55,00	0,071
Sample 3	34,10	63,80	0,063

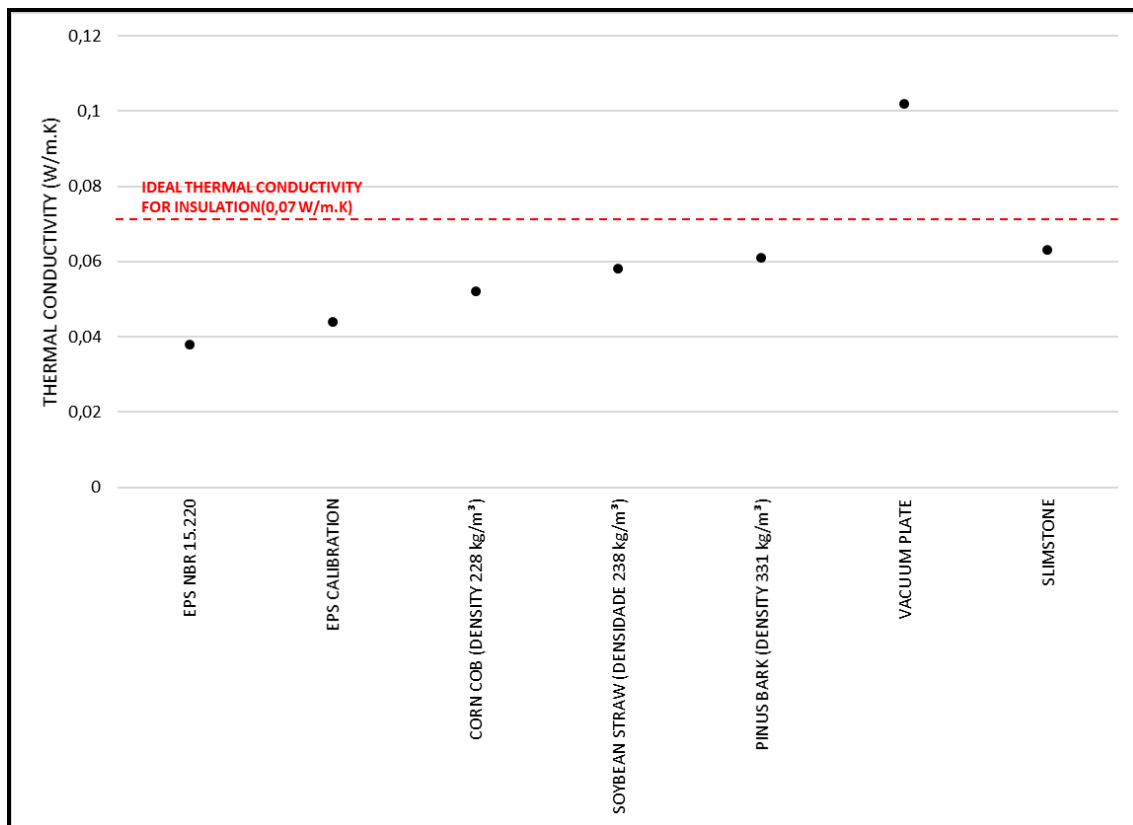
It is noteworthy that the result measured for Slimstone plate is influenced by the component element of polypropylene in hive format, because it has air incorporated in its composition, and due to the thickness of this element, according to NBR 15220 [3], the thermal conductivity for this air layer thickness is approximately 0.143 W / m.k.

### Conclusions

The increasing consumption of electrical energy in buildings, together with the climatic warnings, gives researchers and designers new possibilities of raw material for application as a constructive material [20].

When the analysis of the data was concluded, the similarity of the results is compared to the study of the experiment developed by Marcos [11], both in obtaining the thermal conductivity for the calibration sample of the apparatus (margin of 10%), and the conductivity and density data for the samples of corn cob, soybean straw and pine bark. The application of the sodium silicate to agglomerate the materials in the shape of the thermal insulation plates, widening the range of possibility of application in the construction, was shown as a relevant option.

In relation to the thermal conductivity and based on the data of Asdrubali et al. [2], where a material can be considered thermal insulation ( $\lambda < 0.07$  W / m.K), the analyzed natural elements presented inferior results in all samples analyzed (Graph 8). Samplings developed using SEM highlight the incorporation of air in the analyzed natural elements, corroborating to keep the conductivity indexes low.



Graph 8: Comparative Thermal Conductivity

In the analyzes of the slimstone and vacuum plates there were significant variations among the samples evaluated, as the temperature variations in the hot face of the proposed apparatus were recorded. However, the result of thermal conductivity of 0.063 W / m.k opens the possibility of using this material, in which its disposal as waste is done improperly due to the lack of classification in the legislation. In relation to the vacuum plate, the result of the thermal conductivity analysis superior to the considered ideal index, can be considered satisfactory, because when comparing with the index of the conventional mortar, that is of 0.75 W / mk [3].

It is important to complement the development of the study, applying the materials in real scale, thus evaluating its performance as insulating material in buildings. There is also the possibility of the study developing for acoustic tests, and for fire resistance.

## References

- [1] ALI, Mohamed E.; ALABDULKAREM, Abdulla. On thermal characteristics and microstructure of a new insulation material extracted from date palm trees surface fibers. *Construction and Building Materials*. V. 138, maio, p. 276-284. 2017.
- [2] ASDRUBALI, Francesco; D´ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI; Samuel. A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*. V.4, julho, p. 1–17. 2015.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- [4] ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM C-518 – 2010 - Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. In: *Annual Book of ASTM*, 2010.
- [5] EC - European Committee for Standardization. EN 12664 - Thermal Performance of Building Materials and Products — Determination of Thermal Resistance by Means of Guarded Hot Plate

and Heat Flow Meter Methods — Dry and Moist Products of Medium and Low Thermal Resistance. Bruxelas, 2001a.

[6] EC - European Committee for Standardization. EN 12667 - Thermal Performance of Building Materials and Products — Determination of Thermal Resistance by Means of Guarded Hot Plate and Heat Flow Meter Methods — Products of High and Medium Thermal Resistance. Bruxelas, 2001b.

[7] EC - European Committee for Standardization. EN 12939 - Thermal Performance of Building Materials and Products — Determination of Thermal Resistance by Means of Guarded Hot Plate and Heat Flow Meter Methods — Thick Products of High and Medium Thermal Resistance. Bruxelas, 2000.

[8] EPE. Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) – 2004-2017. Brasília: Ministério de Minas e Energia, maio de 2017.

[9] EPE. O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, junho de 2016.

[10] KUAMOTO, Luciana Hikari. Utilização da ágata do Rio Grande do Sul como matéria prima para luminária. 2014. 91 p., Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Curso de Design de Produto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/116082/000955917.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 out. 2018.

[11] MARCOS, Juliana Sofia Lopes. Materiais naturais alternativos de isolamento térmico. 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2015.

[12] MOURA, Luís Mauro. Desenvolvimento de um protótipo de equipamento de placa quente protegida. 1993. 177 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/157806>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

[13] MUNIZ, Francisco G. Lima; CARACRISTI, Isorlanda. Urbanização, Conforto Térmico e Análise Sazonal Microclimática da Cidade de Sobral(Ce). Revista da Casa da Geografia de Sobral. Sobral, v. 17, n. 1, p. 4-17. Mar. 2015.

[14] SASIL. Produto: Silicato de Sódio Alcalino - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Manual do Fabricante. Bahia: Sasil, 2018. Disponível em: <[http://www.sasil.com.br/br/hp/upload/FISPQ\\_Silicato\\_de\\_Sodio\\_Alcalino\\_0.pdf](http://www.sasil.com.br/br/hp/upload/FISPQ_Silicato_de_Sodio_Alcalino_0.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2018.

[15] PAZETO, Abiliane de Andrade. Caracterização experimental de soluções de reforço para placas de rochas ornamentais. 2017. 179 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-08062017-161300/en.php>>. Acesso em: 05 out. 2018

[16] PROCEL. Resultados PROCEL 2016: Ano Base 2015. Brasília: Eletrobrás, 2016.

[17] PROCEL INFO. Edificação. Brasília: Eletrobrás, 2016.

- [18] PRUTEANU, Marian. Investigations Regarding the Thermal Conductivity of Straw. Buletinul Institutului Politehnic Din Lasi. Sectia Constructii, Arhitectura. V. 56, n.3, p. 9-16. Geórgia, 2010.
- [19] SIMIONI, Wagner Isidoro. Análise de erros na medição de condutividade térmica de materiais através do método fluximétrico. 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102491>>. Acesso em: 10 maio 2018.
- [20] SPINELLI, R.; ALVES, A.; KONRAD, O. Cidade e Edificações: A busca por um novo modelo. Destaques Acadêmicos. Lajeado, v. 5, n. 4, p.173-186. dez. 2013.
- [21] SPINELLI, R; MOTTIN, M.H; CAMBEIRO, F. P; KONRAD, O. Isolamento térmico de fachadas: redução do consumo energético de edificações para Zona Bioclimática 2. Sustentabilidade em Debate. Brasília, v. 9, n.1, p. 172-186. abril. 2018a.
- [22] SPINELLI, R; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, O. Revisão: Estudo de Materiais Naturais para Aplicação em Isolamento Térmico de Edificações. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais. Brasília, v. 9, n.3. março. 2018b.
- [23] SPINELLI, R; LERIN, Dantara; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, O. Desenvolvimento de Placa de Revestimento de Fachada, com Camada de Vácuo para Isolamento Térmico. Em: 3º CLBMCS – Congresso Luso Brasileiro de Material de Construção Sustentável. Coimbra, Portugal, 14 a 16 de fevereiro de 2018c.
- [24] TANGJUANK, S. Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. International Journal of Physical Sciences. V. 6, n. 19, p. 4528-4532. Set. 2011.
- [25] WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações. São Paulo: Artliber Editora, 2005.
- [26] LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW Editores, 2014.

## 5 QUARTO ARTIGO

### ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS: REDUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES PARA ZONA BIOCLIMÁTICA DOIS

SPINELLI, R.; MOTTIN, M. H.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Isolamento Térmico de Fachadas: Redução do Consumo Energético de Edificações para Zona Bioclimática Dois. **Sustentabilidade em Debate**. Brasília, v. 9, n.1, p. 172-186, abril. 2018.

Artigo publicado na Revista Sustentabilidade em Debate – ISSN 2179-9067. O periódico possui estrato superior *Qualis* B1 em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

# Isolamento térmico de fachadas: redução do consumo energético de edificações para Zona Bioclimática 2

*Facades thermal insulation: decrease of energetic  
consumption of buildings on Bioclimatic Zone 2*

Rodrigo Spinelli<sup>a</sup>

Maurício Henrique Mottin<sup>b</sup>

Faustino Patiño Cambeiro<sup>c</sup>

Odorico Konrad<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, RS, Brasil.  
End. Eletrônico: rspinelli@univates.br

<sup>b</sup>Bacharel em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, RS, Brasil.  
End. Eletrônico: mhmottin@gmail.com

<sup>c</sup>Docente da Escola de Engenharia Industrial, Universidade de Vigo, Vigo, Pontevedra, Espanha.  
End. Eletrônico: faustinopc@gmail.com

<sup>d</sup>Docente no Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, RS, Brasil.  
End. Eletrônico: okonrad@univates.br

doi:10.18472/SustDeb.v9n1.2018.25652

Recebido em 12.05.2017

Aceito em 08.01.2018

ARTIGO- VARIA

## RESUMO

Atualmente, o cenário mundial energético e ambiental encontra-se em um estado crítico, com demanda de energia cada vez maior e geração ainda dependente de recursos naturais esgotáveis e poluentes. O elevado consumo elétrico direcionado à climatização artificial é o principal alvo do estudo. O intento deste artigo é analisar o isolamento térmico pelo exterior da edificação, *External Thermal Insulation Composite System* (Etics), ante o clima quente da região da Zona Bioclimática 2 no período analisado, por meio de cálculos normativos e de medições de temperaturas em protótipos executados em alvenaria convencional, na cidade de Lajeado, RS, Brasil. Como resultado, obteve-se redução de 81% da transmitância térmica (U), e 68% do consumo energético do protótipo com Etics, interferindo consideravelmente no dimensionamento de condicionadores de ar. A eficiência do sistema ficou evidente quando analisados os gráficos comparativos de temperaturas internas, utilizando o protótipo Etics. Constatou-se temperaturas mais amenas e estáveis, em relação ao ambiente externo e ao protótipo sem isolamento. As análises demonstram uma intervenção consideravelmente positiva do Etics no desempenho térmico para a Zona Bioclimática 2.

**Palavras-chave:** Isolamento Térmico; Eficiência Energética; Etics; Conforto Térmico.



## ABSTRACT

*Currently the world energy and environmental scenario is in a critical state, with increasing energy demand. Its generation still depends on exhaustible and polluting natural resources. The high electric consumption directed to the artificial climatization is the main target of the study. The purpose of this paper is to analyze the thermal insulation of the building, External Thermal Insulation Composite System (Etics), against the hot climate of the Bioclimatic Zone 2 region in the analyzed period, through normative calculations and temperature measurements in prototypes executed in masonry, in the city of Lajeado, RS, Brazil. As a result, it was obtained a reduction of 81% in the thermal transmittance (U), and 68% of the energy consumption of the prototype with Etics, which considerably interfered in the design of air conditioners. The system efficiency was evident when the internal temperature comparative graphs were analyzed, with the Etics prototype exhibiting more mild and stable temperatures, compared to the external environment and to the non-insulated prototype. The analyses demonstrate a considerably positive intervention of the Etics in the thermal performance, for Bioclimatic Zone 2.*

**Keywords:** Thermal Insulation; Energy Efficiency; Etics; Thermal Comfort.

## 1 INTRODUÇÃO

Em 2001, as ameaças de apagão do setor elétrico e o racionamento imposto à sociedade brasileira foram o marco para a promulgação da Lei n.º 10.295, de 17 de outubro de 2001, em que estabeleceu a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, iniciando o incentivo de pesquisas e estudos relacionados à temática de eficiência energética para criação de padrões de referência, visando à eficiência energética em edificações (CARLO, 2008).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2017), o setor residencial apresentou crescimento de 6,2% no consumo final de energia elétrica, se comparado ao ano anterior. Somados, os setores de edificações residencial, comercial e público consomem 41,1% do total da energia elétrica produzida no Brasil, demonstrando a necessidade de soluções técnicas para reduzir o consumo energético. Dentro dessa temática, as instalações de ar-condicionado em edificações residenciais são responsáveis por 20% do consumo energético; em edificações comerciais e públicas são responsáveis, respectivamente, pelo consumo de 47% e 48% da energia elétrica total da edificação. Valores elevados, ao se comparar com o consumo total de energia elétrica, em que os setores residencial e comercial são responsáveis por 40% do total de consumo de toda a energia produzida (ELETROBRAS; PROCEL, 2007).

Segundo Lamberts (2004), há numerosos exemplos por todo o território mundial de habitações antigas, já originalmente projetadas (arquitetura vernacular), para o aproveitamento de recursos naturais e de materiais construtivos visando o melhor conforto do ambiente construído. Porém, com o avanço da Revolução Industrial, o surgimento do concreto armado e um elenco de novos materiais, e posteriormente da arquitetura *Clean* (tem como característica as imensas cortinas de vidro nas edificações comerciais), criou-se um estilo de edifício “estufa”, uma nova tendência arquitetônica, predominando em todo o mundo, sem a preocupação projetual de se adaptar as novas edificações ao clima de cada região. Logo, sistemas de iluminação e de climatização artificial começaram a ser amplamente utilizados, proporcionando ao projetista uma situação cômoda em relação à adequação da edificação ao clima, porém, impactando de forma significativa no consumo de energia voltada para os edifícios, iniciando um processo constante de demanda e ampliação de produção de energia mundialmente.

No entanto, o clima sempre deve ser um condicionante para definição de estratégias a serem utilizadas na construção civil, como a orientação solar, a forma e os materiais a serem utilizados nas edificações. Sistemas construtivos, alternativas de produção e conservação de energia também devem ser analisados para que se obtenha uma construção racional, que utilize os recursos naturais disponíveis, e que esteja inserida nas necessidades atuais de sustentabilidade, destacando a eficiência energética nas edificações.

Um dos recursos utilizados para conservação de energia, principalmente na Europa e EUA, é a aplicação de isolamento térmico pelo exterior da edificação, aplicado pela primeira vez em meados da década de 1940, na Suécia. Esse sistema, denominado como *External Thermal Insulation Composite System*



(Etics), começava a ser comercializado, principalmente em países de clima frio, e posteriormente migrando para a América do Norte, onde também, nos anos de 1970, se firmou como alternativa de isolamento térmico eficiente na construção civil, pois cumpria os requisitos estabelecidos pela política de eficiência energética imposta. (CHAIBEN, 2014).

A legislação brasileira em relação ao desempenho térmico de edificações apresenta duas Normas, a NBR 15220 (ABNT, 2005) – *Desempenho térmico de edificações* e a NBR 15575 (ABNT, 2013) – *Edificações habitacionais: Desempenho*, que apresenta recomendações para os elementos da envoltória da edificação, como a transmitância térmica<sup>1</sup> (U) mínima de coberturas e paredes externas para cada zona bioclimática do território brasileiro, atreladas às estratégias para obtenção de conforto térmico.

Juntamente das Normas citadas o Brasil também possui, de acordo com o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (Procel Info), iniciado no ano de 2009, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C). No ano de 2010, além da revisão da metodologia de avaliação apresentada no RTQ-C, foi apresentado o Regulamento para Edificações Residenciais (RTQ-R). Portanto, o Brasil está inserido no grupo de países que classificam a eficiência energética das suas edificações.

Para se atingir o conforto térmico do ambiente construído com o menor consumo de energia possível, o isolamento térmico de edificações, por meio da aplicação de materiais de baixa condutividade térmica na cobertura e envoltória do edifício, apresenta-se como fator fundamental para desenvolvimento do conceito de eficiência energética.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência da utilização de isolamento térmico no sistema Etics, em relação à redução do consumo de energia da edificação para obtenção do conforto térmico do ambiente construído, por meio de análises comparativas de dois protótipos idênticos localizados na Zona Bioclimática 2 (Figura 1), porém, sendo um com aplicação de isolamento térmico tipo Etics, e outro sem aplicação de isolamento nas fachadas.

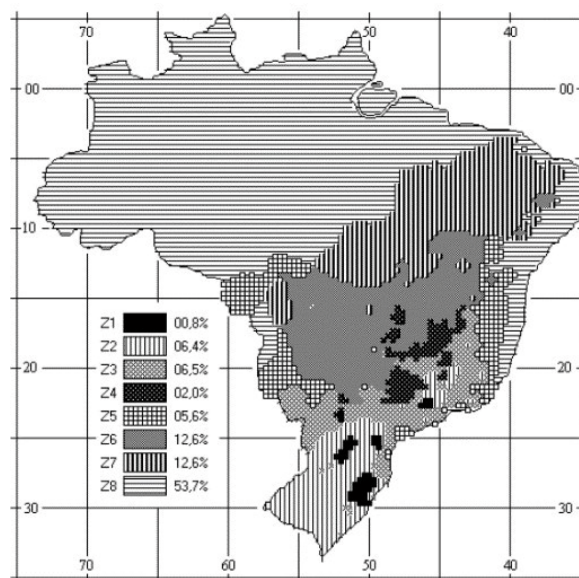


Figura 1 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: ABNT, 2005.

## 1.1 ETICS

O sistema de isolamento térmico pelo exterior, denominado Etics, a partir da terminologia *External Thermal Insulation Composite System*, “destina-se a isolar termicamente as zonas opacas das fachadas” (LNEC, 2010, p. 2).

Conforme Chaiben (2014), para reduzir as perdas térmicas, que consiste na transferência de energia do interior para o exterior do edifício e também os ganhos de calor, o isolamento térmico se mostra fundamental na constituição da fachada das edificações. Chaiben (2014, p. 23) também cita que as “soluções de isolamento térmico mais utilizadas continuam a ser a clássica parede dupla e os recentes sistemas de isolamento pelo exterior, sejam as fachadas ventiladas ou os sistemas tipo Etics”.

O LNEC (2010) descreve que o sistema é aplicado no exterior, em paredes de concreto ou alvenaria, conferindo a estas, além de isolamento térmico, isolamento acústico, impermeabilização, regularização e acabamento final. Também tem como vantagens de uso: melhora do desempenho térmico; correção de pontes térmicas; redução de patologias relacionadas à condensação; proteção da fachada a choques térmicos, causa de fissuras em revestimentos; não reduz a área interior, no caso de reabilitação; e causa mínimo incômodo aos usuários da edificação.

De acordo com Gonçalves e Freitas (2005), na Europa houve um grande crescimento na utilização de isolamento térmico em fachadas pelo exterior, inclusive na reabilitação de edifícios, onde o isolamento térmico existente é insuficiente para cumprimento dos requisitos mínimos dos regulamentos de desempenho térmico, ou apresenta aparência degradada e problemas de estanqueidade. Reforça-se o conceito de isolamento de fachada para os padrões europeus, com o conceito apresentado por Ascenso (2015), em que até o ano de 2020 as edificações novas deverão ser eficientes energeticamente, com balanço próximo do zero, consumindo a mesma quantidade de energia que seja capaz de gerar, e apresenta-se como fator fundamental a adaptação climática das edificações.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente o estudo foi baseado na exposição dos problemas, cenário atual e possíveis soluções relacionadas ao tema, com o objetivo de justificar a utilização de sistemas de isolamento térmico para redução do consumo de energia, visando demonstrar a importância do Etics no conceito de eficiência energética. Posteriormente, já com base teórica suficiente para iniciar a parte experimental do estudo, foi elaborada a aplicação de isolamento térmico tipo Etics em um protótipo localizado na área do Centro Universitário Univates, na cidade de Lajeado/RS.

Os protótipos preexistentes são executados sobre um radier de concreto armado impermeabilizado, alvenarias portantes de blocos cerâmicos maciços sem reboco (11 cm x 5,5 cm x 19 cm, com juntas horizontais e verticais de argamassa de cimento e areia de 1,5 cm de espessura) e laje pré-moldada com vigotas em concreto e telhas cerâmica. Aplicaram-se telhas cerâmicas para o acabamento da cobertura. As áreas de portas e janelas foram desconsideradas para a avaliação do estudo, focando exclusivamente nos elementos opacos de alvenaria (Figura 2), sendo esta a composição básica do protótipo 1.



Figura 2 – Protótipos antes da aplicação do Etics.

*Fonte: Elaboração própria.*

A aplicação do Etics executada no protótipo 2 seguiu as orientações técnicas prescritas no Documento de Homologação de um sistema Etics em Portugal – DH 911, Weber.Therm Classic – Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior (LNEC, Portugal, 2010) devido à falta de normas ou homologações sobre o sistema no Brasil, ocorrendo a substituição de materiais referenciados por produtos similares aos utilizados no sistema europeu. O Etics é composto pelo suporte (parede de alvenaria ou concreto armado), camada de base de argamassa colante, isolamento térmico (EPS, XPS e Cortiça), camada de base armada (com fibra de vidro) e acabamento final. Elementos complementares também são necessários, como dispositivos de fixação, cantoneiras, perfis metálicos de arranque, entre outros.

Para execução do isolamento térmico tipo Etics no protótipo em estudo, o material isolante utilizado foi o Poliestireno Expandido (EPS), devido a sua baixa condutividade térmica, peso específico e custo. A composição da alvenaria: a) Base de alvenaria em bloco cerâmico maciço; b) Placas de EPS de 1000mm x 1200mm x 50mm, com suporte de perfil de alumínio com  $e = 10\text{mm}$ ; c) Argamassa ACII Flex: Cimento Portland, minerais com granulometria controlada e aditivos químicos; d) Tela de fibra de vidro com resistência alcalina, malha trançada de 5mm x 5mm e densidade de  $160\text{g/m}^2$ ; e) Parafusos e arruelas; f) Argamassa para acabamento de cimento, cal e areia, produzida *in loco* com traço 1:1:5; h) Tinta branca à base de água.

De acordo com Chaiben (2014), a placa de EPS deve ter dimensão máxima de 1.200mm, a fim de garantir melhor continuidade ao longo da parede, e também para reduzir efeitos de dilatação e contração dos materiais. Também, deve haver descontinuidade vertical das placas. Por se tratar de um experimento aplicado sobre protótipos preexistentes (posteriormente poderá haver a necessidade de retorno de suas características originais), a fixação das placas de EPS foi executada através da fixação mecânica por parafusos para facilitar a remoção do sistema Etics se necessário. Sendo o objetivo do trabalho relacionado ao desempenho térmico, e não à durabilidade do sistema, esse ponto não interfere nos resultados.

Sobre as placas de EPS foi aplicada a camada de base que é composta por um revestimento de argamassa de ligantes sintéticos armado com rede flexível de fibra de vidro. Em relação à armadura em tela de fibra de vidro, o material é uma “rede constituída por fios de fibra de vidro com dupla torção, com proteção contra os álcalis e abertura de malha de 5mm x 5mm” (DH-911, 2010, p. 3), e densidade de  $160\text{g/m}^2 (+5\%)$ . A tela de fibra de vidro deve ser utilizada no Etics, pois tem como função “restringir as variações dimensionais da camada de base, melhorar a resistência a choques e assegurar resistência à fissuração do revestimento sobre as juntas das placas de isolamento térmico” (CHAIBEN, 2014, p. 43).

Na camada final, o acabamento foi executado com argamassa de cimento, cal e areia, produzida *in loco* com traço 1:1:5, e pintura de tinta à base de água na cor branca (Figura 3).



Figura 3 – Aplicação do sistema Etics (Aplicação EPS; aplicação tela em fibra de vidro; reboco e pintura final).

Fonte: Elaboração própria.

## 2.1 COLETA DE DADOS

Para análise do desempenho dos protótipos foram coletados dados de temperatura (°C) e percentual de umidade relativa do ar (%). Para coleta dos dados do local da execução dos protótipos, foi utilizada a estação meteorológica Instrutemp ITWH-1080. No interior dos protótipos foram instalados sensores de temperatura e umidade DHT03, conectados a um Arduino Uno, com programação C++. Na análise dos dados coletados e do desempenho térmico dos protótipos utilizou-se planilha eletrônica, e seguiram-se as orientações das normas brasileiras de desempenho térmico de edificações. O cálculo da transmitância térmica (U) foi desenvolvido de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) para comprovação do cumprimento dos requisitos mínimos do sistema de vedação vertical externa, expostos na NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

As coletas dos dados de temperatura foram realizadas no período de setembro/15 a novembro/15, sendo possível calcular e simular a redução do consumo de energia direcionado à climatização artificial em relação a outro protótipo idêntico, porém, sem Etics. Destaca-se que no local não há equipamento de climatização artificial instalado.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. DESEMPENHO TÉRMICO

Os valores de transmitância térmica (U) foram calculados conforme preconiza a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e foram verificados os requisitos mínimos de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013). As variáveis relativas aos materiais, necessárias para realização dos cálculos, estão expostas na Tabela 1. Os dados foram retirados da NBR 15220/2005.

Para determinação da transmitância térmica (U) das paredes externas foi necessário realizar primeiramente o cálculo da resistência térmica do fechamento vertical. A Tabela 1 apresenta a espessura do material, a resistência térmica dos materiais e a área de exposição ao fluxo de calor de cada material. Conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005), a área de exposição à transmissão de calor deve ser calculada isolando-se o tijolo e a argamassa para verificação da área de contribuição real de cada material.

Tabela 1 – Variáveis relativas dos materiais para cálculo da resistência térmica.

PROTÓTIPO 1 SEM ETICS	Variáveis	Tijolo	Argamassa Assentamento	EPS	Reboco
	Espessura (m)	0,11	0,11	-	-
	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> .K/W)	0,1222	0,0957	-	-
	Área de troca térmica (m <sup>2</sup> )	0,0105	0,0039	-	-
PROTÓTIPO 2 COM ETICS	Espessura (m)	0,11	0,11	0,05	0,03
	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> .K/W)	0,1222	0,0957	1,1905	0,0261
	Área exposta ao fluxo (m <sup>2</sup> )	0,0105	0,0039	-	-

Fonte: Elaboração própria.

A resistência térmica da parede do protótipo 1 calculada foi de 0,1136 m<sup>2</sup>.K/W, para 11cm de espessura. Acrescenta-se ainda a esse valor a resistência superficial externa (0,04 m<sup>2</sup>.K/W) e interna (0,13 m<sup>2</sup>.K/W) do ar, segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Assim, a resistência total (RT) da parede externa do protótipo 1 foi de 0,2836 m<sup>2</sup>.K/W.

A transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica total. Portanto, foi obtida para o protótipo 1 uma transmitância térmica de aproximadamente 3,53 W/m<sup>2</sup>.K. O valor calculado é inferior ao requisito



mínimo da NBR 15575, que é de 2,5 W/m<sup>2</sup>.K para a Zona Bioclimática 2, local do desenvolvimento do estudo. Assim, o protótipo 1 não cumpre a exigência normativa.

No protótipo 2, em que foi aplicado o Etics, na parede externa (inicialmente era idêntica ao protótipo 1), com a modificação, houve o aumento da resistência térmica, em que a espessura de 11cm da alvenaria passou a ser de 18cm, devido à aplicação de 5cm de EPS e mais 3cm de reboco.

A partir da aplicação do isolamento térmico, a resistência térmica dos materiais do sistema Etics é somada à resistência da parede externa de alvenaria. Assim, à resistência térmica inicial da parede de 0,2836 m<sup>2</sup>.K/W, acrescentou-se à resistência o valor de 1,2166 m<sup>2</sup>.K/W, chegando a um total de 1,5 m<sup>2</sup>.K/W. Pode-se observar que a contribuição de 5 cm de espessura de EPS (1,1904 m<sup>2</sup>.K/W) no valor final da resistência térmica da parede corresponde a 79% do total do Etics, enquanto 3cm de reboco (0,0261m<sup>2</sup>.K/W) de acabamento tem somente a parcela de 1,74%.

O índice de transmitância (U) térmica do protótipo 2, com aplicação de Etics, foi de 0,67 W/m<sup>2</sup>.K. Assim, o valor alcançado cumpre o requisito mínimo da NBR 15575/2013, que é de 2,5 W/m<sup>2</sup>.K.

O cálculo da carga térmica (Q), que é utilizado para dimensionamento dos sistemas de climatização, foi elaborado conforme equações de Frota e Schiffer (2008). De acordo com os autores, a transferência de calor (q) entre paredes opacas se dá pela equação 1.

$$q = \frac{K\alpha I_g}{h_e} + K(t_e - t_i) \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

Assim, multiplicando o valor encontrado na equação 1 pela área exposta ao calor e à radiação solar (área das fachadas), obtém-se a carga térmica do ambiente oriunda da troca de calor entre o meio externo e interno. Na equação 2 não são considerados os ganhos por dissipação de calor de máquinas, pessoas nos ambientes, entre outras formas de ganho de calor.

$$Q = q.A \quad (\text{W}) \quad (2)$$

As variáveis utilizadas na equação 1 e 2 e a legenda estão expostas na Tabela 2. Nessa tabela pode se observar que para o experimento foi determinada a temperatura interna de 25°C como padrão de conforto térmico.

Tabela 2 – Variáveis utilizadas na equação 1.

VARIÁVEIS	P1	P2 ETICS	COBERTURA	UNIDADE
<b>U=K</b>	3,5256	0,6666	2,0054	W/m <sup>2</sup> .°C
<b>Ig</b>	variável	variável	variável	W/m <sup>2</sup>
<b>α =</b>	0,65	0,3	0,75	-
<b>te =</b>	variável	variável	variável	°C
<b>ti =</b>	25	25	25	°C
<b>he =</b>	25	25	25	W/m <sup>2</sup> .°C

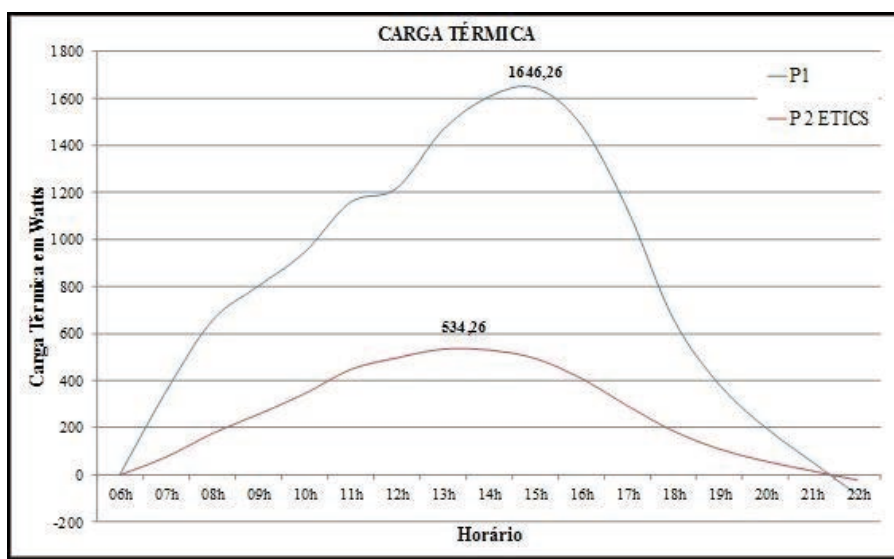
Obs.: U = K = Transmitância térmica; Ig = Radiação incidente; α = Absortância solar; te = temperatura externa real; ti = temperatura interna de conforto; he = Coeficiente de condutância térmica sup. Externa.

Fonte: Elaboração própria.

As Figuras 4 e 5 apresentam a comparação da carga térmica entre os protótipos em análise. Foram desenvolvidos com valores determinados por cálculos com intervalo de tempo de uma hora, no intervalo de tempo das 06h da manhã às 22h, durante o dia 08/08/2015 (data com o maior valor de temperatura externa registrada no mês de agosto de 2015). Utilizaram-se os dados de temperatura externa captados pela estação meteorológica utilizada no estudo, o valor de transmitância térmica (U) previamente calculada, coeficientes como absorvância e condutância térmica de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), e dados de incidência de radiação solar de acordo com a tabela de Frota e Schiffer (2007, p. 217).

A Figura 4 demonstra a carga térmica total dos protótipos. A aplicação do Etics resultou em uma redução considerável de carga térmica comparada ao protótipo não isolado.

Figura 4 – Carga térmica nos protótipos em 08/08/2015.



Fonte: Elaboração própria.

O horário com maior carga térmica, ou seja, o ponto crítico do dia foi de 1.646 W (às 15h) no protótipo 1, e de 534 W (às 13h) no protótipo 2, quando a temperatura externa era de 33,8°C e 31,7°C, respectivamente. A diferença de hora crítica se dá ao fato de que, no protótipo isolado, o calor entrou no ambiente com mais facilidade quando a radiação incidente era maior na horizontal (cobertura) do que nas fachadas. Já no protótipo 1, o ponto crítico ocorreu quando o sol incidia com maior intensidade nas fachadas, e como estas não estavam isoladas, o calor era transferido para o ambiente interno com maior facilidade.

Também é importante comparar a influência da carga térmica oriunda somente das fachadas em relação à carga total. Assim apresenta-se a Figura 5, comparando as parcelas de carga das fachadas com a carga térmica total, para visualização da importância do isolamento nas paredes externas.

Na Figura 5, observa-se que a contribuição das fachadas do protótipo 1 na carga térmica total deste é majoritária, sendo que o espaço entre as duas linhas (preta e roxa) corresponde à parcela de contribuição da cobertura. A cobertura de ambos os protótipos possui uma camada de 1cm de EPS sobre a laje, em que a transmitância térmica (U) calculada foi de 2,00 W/m<sup>2</sup>.K. A maior contribuição de carga térmica das paredes em relação à cobertura se deu devido à baixa resistência térmica das paredes externas.

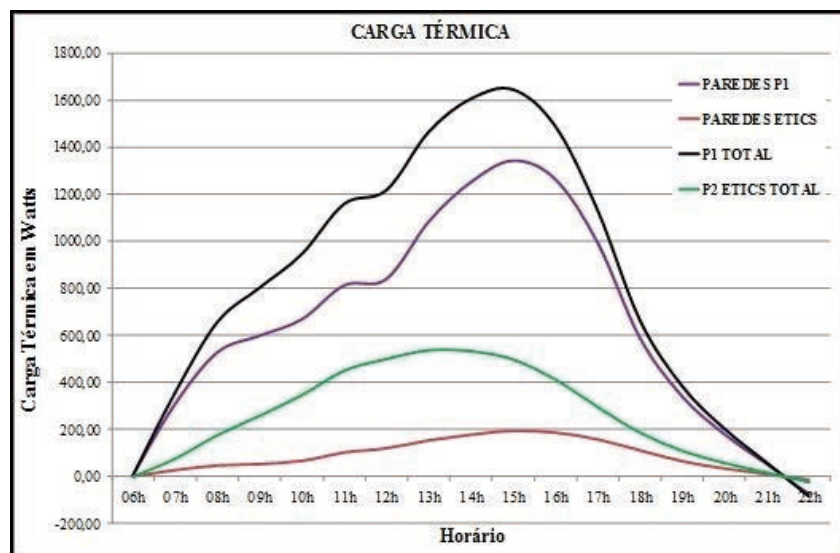


Figura 5 – Contribuição das fachadas na carga térmica total, em 08/08/2015.

Fonte: Elaboração própria.

No protótipo 2 a cobertura tem maior parcela de influência na carga térmica total, na maior parte do dia, ocorrendo a inversão desse fato nas horas em que a radiação incidente na cobertura começa a ficar muito baixa e, conseqüentemente, aumentar nas fachadas. Também, quando já não existe incidência de radiação solar, ocorrendo apenas a passagem de calor por condução, e, assim como as fachadas possuem área maior do que a cobertura, tem maior parcela na passagem de calor do meio externo para o ambiente interno, porém, com valores muito baixos, tendendo a zero.

### 3.2 COMPARATIVO DE TEMPERATURAS

Com base nos dados mensurados pelos equipamentos utilizados no estudo, foi possível desenvolver gráficos comparativos com as informações de temperatura externa e as informações de temperatura interna de ambos os protótipos, tendo assim a visualização da interferência do sistema Etics na real diminuição da temperatura interna.

Na coleta dos dados no período de 07/08/2015 a 10/11/2015, foram observados os dias em que houve ocorrência de maior calor (maior temperatura externa). Assim, para análise do desempenho térmico diante do calor, foram selecionados os dias considerados críticos. Conforme os comparativos apresentados a seguir, inicialmente ocorreu a análise com influência do vento (ventilação cruzada), e posteriormente com o fechamento das aberturas do protótipo 2, a fim de simular uma situação se havia ganho de calor pela circulação de ar. Para ambos os protótipos desenvolveu-se a simulação de consumo de energia, com aplicação do cálculo de carga térmica, com a utilização de climatização artificial.

Observa-se na Figura 6 que o protótipo 2 teve uma variação de temperatura menor ao longo do dia. De acordo com o padrão de conforto térmico, que considera temperatura de 19°C até 28°C como valores aceitáveis, variando com a umidade e velocidade do ar, o protótipo 1 esteve, no período analisado, 3 horas a mais fora da zona de conforto que o protótipo com isolamento.

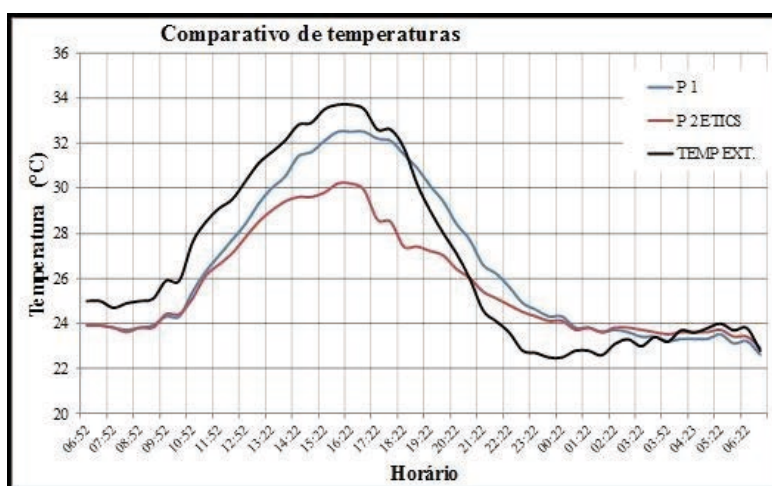


Figura 6 – Comparativo de temperaturas em 08/08/2015, com ventilação cruzada.

Fonte: Elaboração própria.

Nos picos de temperatura do dia 08/08/2015, ocorridos às 16h22, enquanto a temperatura externa foi de 33,7°C, o protótipo 1 registrou 32,5°C, e o protótipo com Etics marcou 30,2°C para temperatura interna. A maior diferença fica evidente às 18h22, quando o protótipo 2 apresenta temperatura interna 4,1°C inferior ao ambiente externo e 3,6°C a menos que o protótipo 1. Nas Figuras 7 e 8, fica visível a diferença de temperatura de pico dos dias e a manutenção da temperatura interna na zona de conforto no protótipo em que foi aplicado isolamento térmico tipo Etics, quando se faz o fechamento das entradas de ar.

Conforme representado na Figura 7, o protótipo 2 esteve 8,8°C abaixo da temperatura externa e 4°C abaixo do protótipo 1, comprovando a funcionalidade do sistema de isolamento térmico aplicado. Analisando a oscilação térmica, a eficiência do isolamento térmico é plenamente satisfatória. Enquanto a temperatura externa variou de 17,4°C (06h22) a 32,4°C (15h22) em um total de 15°C, a oscilação da temperatura interna do protótipo 2 foi de 18,5°C (06h22) a 23,9°C (17h22) em um total de 5,4°C. O protótipo 1 com ventilação natural teve uma variação de temperatura interna de 18°C a 27,8°C, total de 9,8°C.

Na Figura 8, apresentando dados de 09/11/2015, o desempenho térmico do protótipo 2 também se apresentou satisfatório. A manutenção da temperatura interna em condições de conforto durante todo o período reduziu a zero a necessidade de utilização de equipamento para climatização artificial, dependendo apenas de fechamento e aberturas para que o ambiente interno esteja em níveis de conforto.

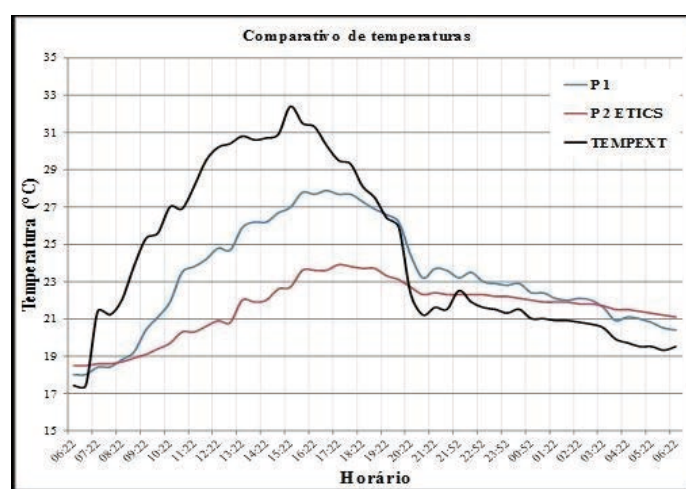


Figura 7 – Comparativo de temperatura com aberturas vedadas em 08/11/2015.

Fonte: Elaboração própria.



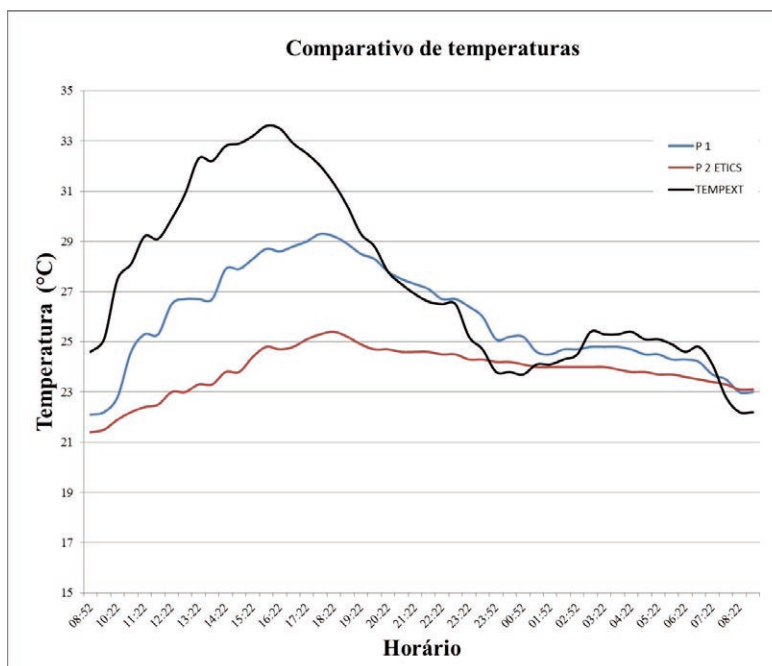


Figura 8 – Comparativo de temperaturas com aberturas vedadas em 09/11/15.

Fonte: Elaboração própria.

A oscilação térmica no interior do protótipo 2 foi de apenas 4 °C durante todo o período de 09/11/2015, diante da variação de 11,2 °C da temperatura externa e de 7,2 °C do protótipo 1. A diferença de temperatura de pico foi de grande amplitude, registrando 9,1 °C mais baixa que a temperatura externa às 14h52, e 4,1 °C em relação ao protótipo 1. Percebe-se nitidamente a maior eficiência do isolamento térmico Etics no protótipo quando a edificação está com as janelas fechadas. A pequena variação das temperaturas internas do protótipo 2 nos dias 08 e 09 de novembro demonstra que o sistema reduz consideravelmente o efeito da temperatura externa sobre o ambiente habitado, assim, um sistema de isolamento térmico de fachadas que atende às normas brasileiras.

### 3.3 CONSUMO DE ENERGIA

O dimensionamento de ar-condicionado necessário para cada protótipo foi elaborado a partir da carga térmica média com os dados do dia 08/08/2015. A média diária foi encontrada por meio da área sob a curva do gráfico Carga térmica x Horário, desenvolvido pelo *software AutoCad*.

Com a potência média encontrada, foi possível verificar o consumo aproximado de energia elétrica dos protótipos para fins de conforto térmico. É importante salientar que o ambiente interno de cada um dos protótipos possui área útil de 3,37 m<sup>2</sup>, fazendo com que os custos com climatização pareçam baixos. Assim, é importante analisar o percentual de economia.

#### Protótipo 1

Por meio da carga térmica média do dia, calculou-se a média de consumo por hora de funcionamento do ar-condicionado, conforme Figura 9.

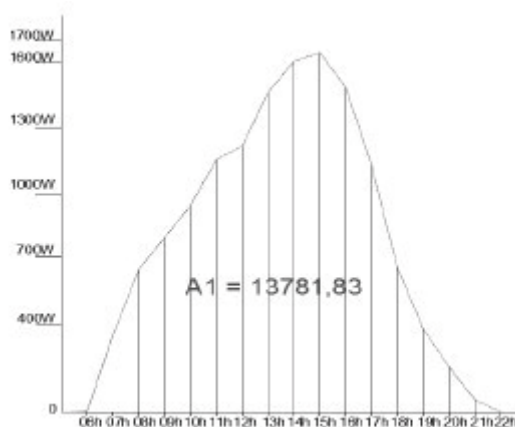


Figura 9 – Consumo energético Protótipo 1.

Fonte: Elaboração própria.

A partir da área do gráfico, segue o cálculo da potência média:

$$Pot = \frac{13781,83W.h}{18h} = 766 W \quad (3)$$

A potência de 766 W corresponde a um equipamento de 2.613 BTU/h, sendo equivalente a um consumo de 261,3 W em uma hora de funcionamento do equipamento de climatização artificial. Como referência de valor para o custo do Kw.h, foi utilizada tarifa da concessionária de energia elétrica AESul, mês base de novembro de 2015.

O custo médio por hora do dia, considerando as cargas térmicas em 18h do dia, seria de:

$$Custo = 0,261Kw.h \times R\$ 0,75/Kw.h = R\$ 0,20$$

Considerando o uso de equipamento de ar-condicionado durante 10h em um dia, o custo seria de R\$ 2,00 por dia e em um mês com 20 dias de uso, R\$ 40,00 por mês.

### Protótipo 2 – Etics

A média de consumo no protótipo 2 foi calculada a seguir, a partir da área sob a curva da Figura 10. A carga térmica de 245,28 W corresponde a 837 BTU/h de potência de ar-condicionado, sendo equivalente a um consumo de 83,7 W em uma hora de funcionamento do ar-condicionado.

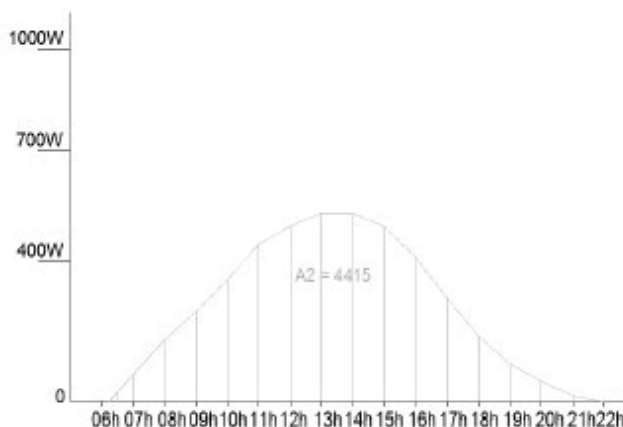


Figura 10 – Consumo energético Protótipo 2.

Fonte: Elaboração própria.

A partir da área do gráfico, segue o cálculo da potência média: t

$$Pot = \frac{4415 \text{ W.h}}{18h} = 245,28 \text{ W} \quad (4)$$

O custo médio por hora do dia, considerando as cargas térmicas em 18h do dia, seria de:

$$Custo = 0,0837 \text{ Kw.h} \times R\$ 0,75/\text{Kw.h} = R\$ 0,06$$

Considerando o uso de equipamento de ar-condicionado durante 10h em um dia, o custo seria de R\$ 0,60 por dia e em um mês com 20 dias de uso, R\$ 12,00 por mês.

A Tabela 3 apresenta resumidamente as análises dos cálculos relativos ao desempenho térmico e consumo de energia. Destaca-se que a eficiência do sistema aplicado no protótipo 2 é significativa quando comparado ao protótipo 1.

Tabela 3 – Resumo de cálculos térmicos.

	P1	P2 ETICS	VALOR MÁX. NBR 15575/2013	REDUÇÃO DE P1 PARA P2
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (W/m².K)	3,53	0,67	2,5	~81%
CARGA TÉRMICA-PONTO CRÍTICO EM 08-08-2015(W)	1646,26	534,26	-	~67%
CONTRIBUIÇÃO MÁX. FACHADA NA CARGA TÉRMICA TOTAL EM 08-08-2015 (W)	1344,48(fachadas) de 1646,26 (total)	193(fachadas) de 495 (total)	-	~43%
CONSUMO DE ENERGIA HORA CRÍTICA (Kw.h) E CUSTO MÉDIO EM 08-08-2015 (RS)	0,535/R\$ 0,40	0,182/R\$ 0,14	-	~65%
CONSUMO DE ENERGIA MÉDIO (Kw.h) E CUSTO MÉDIO EM 08-08-2015 (RS)	0,261/R\$ 0,20	0,0837/R\$0,06	-	~70%
CUSTO EM UM MÊS DE USO DE AR-CONDICIONADO (10h p/ dia – 20 dias p/ mês) com base em 08-08-2015.	R\$ 40,00	R\$ 12,00	-	~70%

Fonte: Elaboração própria.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se grande interferência do isolamento da fachada para o resultado de cálculo da carga térmica no ambiente interno, devido à redução elevada do índice de transmitância térmica (U) das alvenarias, após a aplicação do sistema Etics. No dimensionamento de ar-condicionado necessário para os protótipos obteve-se uma diferença considerável entre ambos, chegando a 68% de redução do consumo energético do protótipo 2, em relação ao protótipo 1.

Os gráficos comparativos de temperaturas internas demonstraram duas características satisfatórias do protótipo isolado diante do desempenho térmico em dias com temperatura elevada: a manutenção da temperatura em níveis de conforto com pouca oscilação e a amplitude da diferença de temperatura de pico, ou seja, das máximas diárias, sempre registrando as temperaturas do protótipo Etics mais amenas, ao se comparar com o protótipo 1, e amplamente mais baixas que a temperatura externa. Ao se simular o cálculo de carga térmica e consumo de equipamento para climatização, assim, se confirma a eficiência do sistema.

Com as análises finalizadas, observou-se que a aplicação de isolamento térmico pelo exterior interferiu positivamente na eficiência energética da edificação, contribuindo para a redução do consumo energético do protótipo a fim de atingir temperaturas de conforto térmico.

O desenvolvimento do estudo limitou-se à estrutura preexistente dos protótipos, que servem como base para diferentes estudos relacionados ao comportamento térmico de edificações. As adaptações são executadas de forma a serem removidas de forma facilitada, sem a necessidade de mão de obra especializada. Assim os resultados obtidos com o estudo podem ser inseridos em ferramentas computacionais e utilizados em análises comparativas com diferentes sistemas construtivos, variação de radiação solar, espessuras de paredes, e materiais para aplicação em isolamento térmico de fachadas.

Destaca-se também a possibilidade de prosseguimento dos estudos, partindo da aplicação de novos materiais para testar isolamento térmico, com a utilização de elementos naturais.

## NOTA

<sup>1</sup>Trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e as trocas térmicas por meio do material (por condução). Portanto, engloba as trocas de calor referentes a um determinado material segundo a espessura da lâmina, o coeficiente de condutividade térmica, a posição horizontal ou vertical e, ainda, o sentido do fluxo (FROTA; SHIFFER, 2007, p. 38).

## REFERÊNCIAS

ANDREIS, C. **Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, UFSC. Florianópolis, 2014.

ASCENSO, R. Nearly zero energy buildings - O que vai mudar com os NZEB? **Edifícios e Energia**. Algés, Portugal. 2016. Disponível em: <<http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/tema-de-capa-1>>. Acesso em: 20 out. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15575** – Edifícios habitacionais - Desempenho – Parte 1. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16401** – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 1. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). **Manual de utilização EPS na construção civil**. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO IBÉRICA DE XPS (AIPEX). **Soluções de Isolamento Térmico com Poliestireno Extrudido (XPS) para uma construção sustentável**.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS FABRICANTES DE ARGAMASSAS E ETICS (APFAC). Laboratório de Física das Construções (LFC). **Relatório - LFC-IC-282A-2014**: patologias de sistemas de isolamento térmico pelo exterior tipo ETICS. Porto, Portugal, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional – BEN 2014**. Relatório Final. Brasília, 2014.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltoário de Edificações não residenciais**. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 2008.

CHAIBEN, C. A. P. B. **Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (Etics): avaliação preliminar de viabilidade para sua aplicação no Brasil**. 2014. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

- CHEMIN, B. F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed., Lajeado: Univates, 2015.
- COSTA, E. C. **Física aplicada à construção civil: conforto térmico**. 4ª ed., São Paulo, 2003.
- CREDER, H. **Instalações de Ar-Condicionado**. 6. ed., Rio de Janeiro, 2010.
- ELETOBRAS; PROCEL. **Avaliação dos Resultados do Procel 2007**. Rio de Janeiro, 2008. 191 p.
- EPE. Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) – 2004-2017. Brasília: Ministério de Minas e Energia, maio de 2017. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/sumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse\(regi%C3%B5esesubsistemas\)%E2%80%932011-2012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/sumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse(regi%C3%B5esesubsistemas)%E2%80%932011-2012.aspx)>.
- FREITAS, V. P.; GONÇALVES, P. F. **Isolamento térmico de fachadas: reboco delgado armado sobre poliestireno expandido**. Porto, Portugal: FEUP, 2005.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 8. ed., São Paulo, 2007.
- INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro, 2011.
- KEELER, M.; BURKE, B. **Projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre, 2010.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Documento de Homologação DH 911. Weber. Therm Classic: Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior**, Lisboa, Portugal, 2010. Disponibilizado pelo Instituto Politécnico de Leiria. Leiria, Portugal.
- LAMBERTS, R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2. ed., São Paulo, 2004.
- \_\_\_\_\_. **Conforto e Stress térmico**. Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. Florianópolis: UFSC, 2014.
- LIA, L. R. B.; QUITES, E. E. C. **Introdução à transferência de calor: Notas de aula**, 2001.
- SCHMID, A. L. **A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba, 2005.
- SCHMIDT, F. W. **Introdução às Ciências Térmicas: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor**. São Paulo, 2004.

## 6 QUINTO ARTIGO

### ***DEVELOPMENT OF NATURAL AND INNOVATIVE MATERIAL FOR APPLICATION AS THERMAL INSULATION IN BUILDINGS***

SPINELLI, R.; LERIN, Dantara; SPOHR, G.L.S.; PASQUALI, P.H.D.A.; PITOL, A.F.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Development of Natural and Innovative Material for Application as Thermal Insulation in Buildings. **Sustentabilidade em Debate**. Brasília.

Artigo em avaliação na Revista Sustentabilidade em Debate – ISSN 2179-9067 – para publicação. O periódico possui estrato superior *Qualis* B1 em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

# Development of natural and innovative material for application as thermal insulation in buildings

## *Desenvolvimento de material natural e inovador para aplicação como isolamento térmico em edificações.*

Rodrigo Spinelli<sup>1</sup>, Dantara Lerin<sup>2</sup>, Glauco L. S. Spohr<sup>2</sup>, Alana Francischett Pitol<sup>2</sup>, Pedro Henrique Dallagnol Pasquali<sup>2</sup>, Claus Haetinger<sup>4</sup>, Faustino P. Cambeiro<sup>3</sup>, and Odorico Konrad<sup>4</sup>.

Author's affiliation, Country

1. Doctorate for PPGAD - University of Vale do Taquari – UNIVATES, Brazil.
2. University of Vale do Taquari – UNIVATES. Brazil.
3. University of Vigo, Spain.
4. PPGAD – University of Vale do Taquari – UNIVATES, Brazil

**Abstract:** The advent of new technologies related to thermal insulation systems in civil construction helps buildings become more efficient, reducing their consumption of electric energy through air conditioning, and providing thermal comfort to users. The research aims to develop a facade cladding board for buildings, with thermal insulation starting from vacuum, and corn cob. Facade coatings with mortar finish were developed, filling them with developed materials. Three prototypes were executed in masonry of ceramic blocks, with dimensions of 60x60x64,0 cm. The Field Logger 512K (Lite) and PT100 sensors were used for data collection of external temperature and internal temperature of the prototypes. Solar radiation data were collected by the university weather station, model Davis-6450. It is worth noting the average internal temperature reduction in Prototype 2 and 3, compared to 1 (without isolation), which was 2.74 ° C and 8.05 ° C.

Key words: Civil construction; Thermal insulation; Corncob; Vacuum; Thermal comfort.

**Resumo:** O advento de novas técnicas relacionadas a sistemas de isolamento térmico na construção civil auxilia para que edificações tornem-se mais eficientes, diminuindo seu consumo de energia elétrica por meio de climatização artificial, e proporcionando conforto térmico aos usuários. A pesquisa, tem como objetivo o desenvolvimento de uma placa de revestimento de fachada para edificações, com isolamento térmico partindo do vácuo, e do sabugo de milho. Foram desenvolvidos revestimentos de fachada com acabamento em

argamassa, preenchendo-as com materiais desenvolvidos. Foram executados três protótipos em alvenaria de blocos cerâmicos, com dimensões de 60x60x64,0 cm. Na coleta de dados de temperatura externa e temperatura interna dos protótipos foi utilizado o equipamento Field Logger 512K (Lite), e sensores PT100. Dados de radiação solar foram coletados pela estação meteorológica da universidade, modelo Davis-6450. Destaca-se a redução média da temperatura interna nos Protótipos 2 e 3, em comparação ao 1 (sem isolamento), que foi de 2,74°C e 8,05°C.

Palavras Chaves: Construção civil, Isolamento térmico, Sabugo de milho, Vácuo, Conforto térmico

## **1. Introduction:**

Civil construction grew by 18% in the period of 2000 to 2015, about one-third of the total end-use of global energy, equivalent to one-sixth of the direct end-use CO<sub>2</sub> emissions, with buildings accounting for the largest share of energy consumption and greenhouse gas emissions. The main factors that influence on this growth in energy consumption are mainly the exponential growth of the population, which increases the demand for residential buildings and associated services. It becomes important to invest in renewable energy, social policies to mobilize society reduce carbon emissions, and as the main objective, implement research and development programs in energy efficiency in buildings, focus on building systems, making strategic decision and dissemination, show opportunities to improve energy efficiency is the goal in the future construction market. It is extremely important to analyze the impacts of the construction envelope in the energy consumption, and study the materials of the facades, and this aspect should not be underestimated (GALLO and ROMANO, 2017)

It is important to invest in innovation using advanced options, as the focus in the future construction market, being a necessary approach to improve the energy efficiency of building components (GALLO, 2014)

Technological advances in materials and systems of building automation have been drawing parallels between adaptive facades and the intelligent response of human behavior and our own skin to environmental stimuli, increasingly viable to regulate the flow of energy



through the thermal insulation of buildings, providing reduced energy consumption and occupant comfort (WIGGINTON and HARRIS, 2002), (ASCHEHOUG and ANDRESEN, 2008).

Changes in climatic patterns and the need for comfort and energy of occupants of buildings, static façades cannot provide consistent climate control without the use of some type of artificial climatic system, enabling the implementation of dynamic controls for facades, such as light control diurnal in the materiality, adaptable windows, etc. proposing energy savings and improved comfort of the built environment, being applied alone or in combination under a variety of climatic conditions (LEE et al., 2002; PERINO, 2008).

Currently, related to technological innovations, designers have software's that providing information on each material used, improving the issues related to costs and losses, in this way, it can be said that well-designed projects that are relevant for optimization and rationalization in construction, with more precision and reduction of uncertainties compared to conventional construction (ARO and AMORIM, 2004).

Given the above, it can be said that the introduction of materials, techniques and technological equipment are related to the improvement of civil construction, leading to a better construction quality and reduction of the amount of waste produced, being this one of the great impasses faced by the companies on this branch. It is important to emphasize, according to Bianchi (2014), that the construction industry nowadays requests that issues related to sustainability and energy efficiency in buildings be considered, and that the concern with the thermal insulation of buildings is a constructive technique directly related to this aspect.

There are several points related to the technological advance, and that has been developing and modernizing products in recent years, in which an important system is three-dimensional printing. Porto (2016) describes that this technology has been used in several areas, such as medicine, aerospace, and the production of automotive parts. The author also points out that, as in these areas, the 3D printer can bring significant advances and benefits to civil construction, such as the reduction of labor and waste, providing greater

quality and agility in construction time, as well as lower severity and decrease the worker's contact with risk situations.

In addition to the 3D printing system, the laser cutting technique is widely used in the industrial sector (INDAC, 2017), having as main characteristics the high precision in the cut, manufacturing flexibility, high production capacity with consequent reduction of costs, and possibilities of cuts in several formats (straight, curved and complex), thus minimizing waste of material.

For Martins and Barros (2005), innovation in the construction sector should be considered as a competitive strategy, becoming an important tool for companies to have competitive advantages, adding efficiency and agility in production activities, as well as providing greater profitability to the company and significant improvement in the final quality. In the context of the evolution of civil construction, one can also highlight the use of natural elements as thermal insulation material (ASDRUBALI et al., 2012; ASDRUBALI et al., 2015).

### **1.1. Thermal Performance standards**

The strategy developed by the European Union to mitigate the negative effects of climate change, where by the year 2020 new buildings must be energy efficient, close to zero, consuming the same amount of energy as it is capable of generating, it is up to each member state to develop the best method to achieve the objectives, and the climatic adaptation of buildings is a fundamental factor, following the guidelines of the European Parliament's Directive 2010/31 / EU on Energy Performance of Buildings (2010), determining that building materials should be used in a rational manner, buildings should be energy efficient to minimize the emission of greenhouse gases (CAMBEIRO et al., 2016).

In Brazil according to data from the Energy Research Company, the Residential (29%), Commercial (19%), and Industrial (36%) sectors are responsible for 84% of current energy consumption, considered high (EPE, 2016). In a report prepared by EPE (2016), which presents "Brazil's Commitment to Combating Climate Change: Energy Production and Use", it identifies that for energy consumption there are three important challenges to be

achieved: 1) energy efficiency for reduction of the energy consumption of buildings and emissions of greenhouse gases (GHG); 2) expansion of energy self-production, to meet growing consumption and distributed generation; and 3) to meet annual energy consumption growth of 3% between 2014 and 2030 (disregarding self-production and including gains related to energy efficiency) (EPE, 2016).

NBR 15220 (2003), standardizes the techniques and parameters for the best thermal performance of buildings, is divided into five parts. The first part consists of tables that establish definitions, symbols and units referring to the thermal performance of buildings. The second part presents the equations and typical values necessary for the development of the calculations of the thermal properties of building materials, such as: solar factor, thermal delay, capacity and thermal transmittance (U).

In its third part, the standard (ABNT, 2003) presents guidelines of the Brazilian Bioclimatic Zoning, in addition to a set of constructive strategies, which aim to adapt the buildings according to parameters related to the eight bioclimatic zones, aiming at the thermal performance of the building. The fourth and fifth parts of the standard present procedures for determining the resistance and thermal conductivity ( $\lambda$ ) of materials from the protected hot-plate and flow-meter methods.

NBR 15575 (2013), developed to standardize the performance of housing developments, published in 2013, in which the focus is the establishment of minimum requirements to be reached for the execution of buildings. One of the requirements is the thermal comfort of the users, independent of the materials and the construction system used, based on the requirements of NBR 15220 (2003).

As previously mentioned, (ARO and AMORIM, 2004), the computational tools bring the possibility of developing more precise simulations, and for the development of this technique, NBR 15575 (2003) recommends the use of Energy Plus software.

## **1.2. Thermal Comfort x Energy Efficiency**

The definition of thermal comfort according to ASHRAE (LAMBERTS et al., 2004) is associated with man's sense of well-being and the thermal environment that surrounds it. It is important to emphasize that to have thermal comfort, it is necessary to balance the temperature between the heat generated by the body and the heat lost in the environment. NBR 15220 (2003) describes thermal comfort as the "psychophysiological satisfaction of an individual with the thermal conditions of the environment".

Corbella and Yannas (2003) and Lamberts et al. (2004) share the sensation of thermal comfort in human variables (physical activity and dress) and environmental variables (infrared radiation, solar radiation, temperature, movement, humidity and air velocity). It is important to emphasize that variables such as sex, age, weight, activity performed in the place, among other variables also influence the sensation of wellbeing of each person.

Related to projects of air conditioning systems, NBR 16401 (2008) establishes comfort parameters for the summer and winter periods, which characterize a sense of well-being for people (Table 1).

	<b>Summer</b>	<b>Winter</b>
<b>Temperature (°C) / Percent Relative Humidity (%)</b>	22,5°C to 25,5°C / 65%	21,0°C to 23,5°C / 60%
	23,0°C to 26,0°C / 35%	21,5°C to 24,0°C / 30%

**Table 1 – Thermal Comfort Parameters.**

### **1.3. Thermal Insulation Materials**

According to data from the Energy Research Company (2017), the Residential (29%), Commercial (19%), and Industrial (36%) sectors accounted for 84% of current energy consumption, considered to be high consumption. In a second report (2017), he emphasized that "Brazil's Commitment to Combating Climate Change: Energy Production and Use" identifies that for energy consumption there are three important challenges to be met: 1) energy efficiency to reduce consumption energy efficiency of buildings and emissions of

greenhouse gases (GHG); 2) expansion of energy self-production to meet growing consumption and distributed generation; and 3) to meet annual energy consumption growth of 3% between 2014 and 2030 (disregarding self-production and including gains related to energy efficiency). Focusing on the first challenge, thermal insulation strategies are fundamental to serve it efficiently.

Dutra (2010) points out that the commercially used materials used for thermal insulation are: 1) Rock wool (or mineral wool), produced from liquefied rock, and with low thermal conductivity ( $\lambda = 0,035 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ); 2) Glass wool, produced by hot glass expansion, and low thermal conductivity ( $\lambda = 0,04 / 0,055 \text{ W/m.K}$ ); 3) Polyurethane (PU), which has characteristics suitable for use in civil construction, and very low thermal conductivity ( $\lambda = 0,025 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ); 4) Designed Polyurethane ( $\lambda = 0,016 / 0,02 \text{ W/m.K}$ ); 5) Expanded Polyurethane (EPS), one of the most widely used materials for thermal insulation ( $\lambda = 0,035 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ); and 6) Extruded Polyurethane (XPS) ( $\lambda = 0,035 / 0,040 \text{ W/m.K}$ ). The application of EPS in tests performed with External Thermal Insulation Composite System (ETICS) (SPINELLI et al., 2018), on the external face of the facade. Comparing prototypes with no application, and with ETICS application, a reduction of 81% in the thermal transmittance (U) and 68% of the energy consumption was achieved for the prototype with ETICS, considerably interfering in the design of air conditioners.

With the modernization of the construction systems, new technologies for thermal insulation appear. The Basalt fiber blanket (MORETTI et al., 2016), in which the basalt fiber manufacturing process is like that of glass fibers, but with lower energy consumption and without additives. Basalt fibers have no toxic reaction with air or water or other chemicals, are non-flammable and explosion proof. The tests developed with the material presented low indices of thermal conductivity. At a density of  $165 \text{ kg / m}^3$ , the thermal conductivity value of  $0.0312 \text{ W / m.K}$ . Considering a density of  $187 \text{ kg / m}^3$ , the thermal conductivity is equal to  $0.0320 \text{ W / m.K}$ .

In this paper, we present the results of a study on the thermal insulation components of materials such as glass fiber and vacuum laminated aluminum (Vacuum Insulation Panel

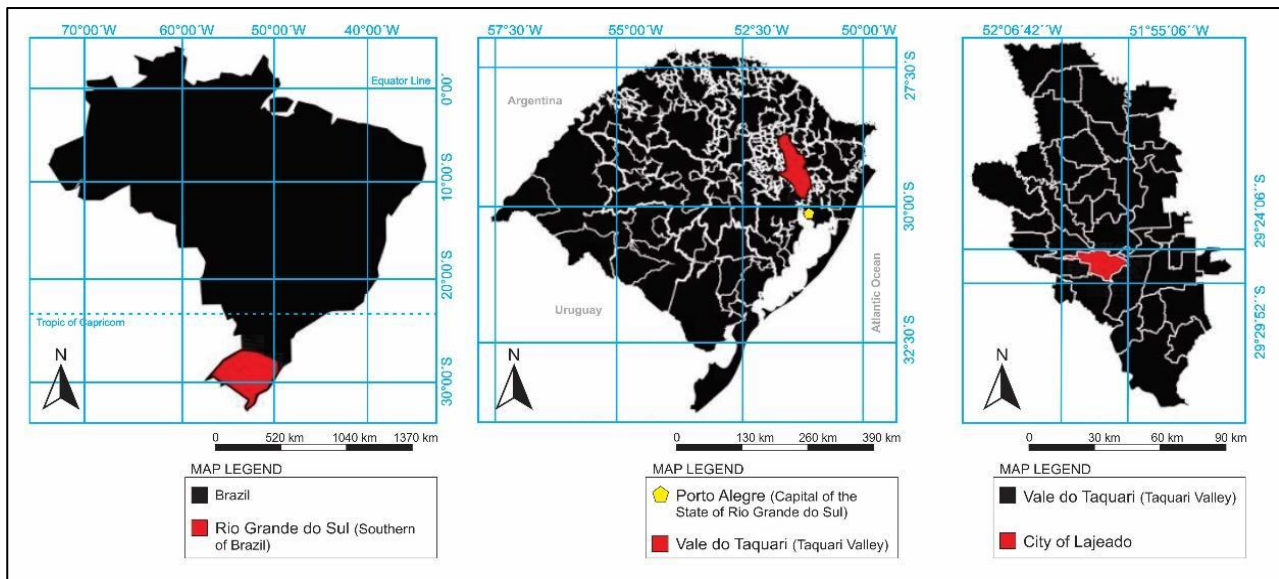
- VIP), with a thermal conductivity index of  $\lambda = 0,030 \text{ W/m.K}$ . In a study carried out in South Korea (BOAFOA et al., 2015), it highlights the efficiency of the panel with vacuum and fiberglass thermal insulation but emphasizes that the elements used as support for the installation of the material cause thermal bridges, causing heat transfer.

With bias for the use of natural materials, according to ASDRUBALI et al. (2012) (2015) a material can be considered as a thermal insulator if its thermal conductivity index is less than  $0.07 \text{ W / m.K}$ , and highlights several compositions of natural materials (corn cob -  $\lambda = 0,057 \text{ W/m.K}$ , straw -  $\lambda = 0,051 \text{ W/m.K}$ , pine bark -  $\lambda = 0,069 \text{ W/m.K}$ , pineapple leaf fiber -  $\lambda = 0,057 \text{ W/m.K}$ , rice husk -  $\lambda = 0,0566 \text{ W/m.K}$ , straw-  $\lambda = 0,067 \text{ W/m.K}$ , etc.) with wide possibility of use as material of thermal insulation in buildings.

#### **1.4. Objective**

The main objective of the research is to develop a study related to temperature of thermal comfort and improvement of energy efficiency, developing a coating for thermal insulation of facades of buildings. The study was developed from the comparison between three prototypes: Prototype 1 - No coating application; Prototype 2 - Application of facade cladding insulated with Corncob; Prototype 3 - Application of facade cladding with vacuum insulation. The external temperature ( $T_e$ ), internal temperature ( $T_i$ ), and solar radiation data were analyzed, comparing the heat gain inside the prototypes, and the efficiency of the materials applied for insulation. The corn husk was selected for the study, because Brazil, mainly the southern region, has a large corn crop, where the estimated 2016/2017 harvest was 91.5 million tons (37.5% growth), with 29.9 million tons for the first harvest and 61.6 million tons for the second. The total area of maize should reach 17.1 million hectares (SPINELLI et al., 2018). The vacuum element was developed to expand studies from innovative materials (MARTINS and BARROS, 2005).

## **2. Methodology**



**Fig. 1- Location of the State of Rio Grande do Sul in Brazil, Taquari valley in the state of Rio Grande do Sul, and the city of Lajeado in Taquari valley.**

For the accomplishment of the study, the applied methodology (GIL,1999) is of exploratory research.

## 2.1. Experiment location

The city of Lajeado / RS-Brazil is in the Taquari Valley, 120 kilometers away from Porto Alegre, capital of the state of Rio Grande do Sul (Fig.1) (SPINELLI et al., 2017). According to Spinelli et al. (2017), in his study on bioclimatology, with the elaboration of the Bioclimatic Chart for the city of Lajeado / RS, data point out that there is a predominance of 45.26% days of the year when bioclimatic strategies are not necessary (Zone 1), due to the natural sensitivity of thermal comfort in buildings.

With 29.92% of the days, the zone of High Inertia / Passive solar heating (Zone 7) can be used, being able to use them separately or together, being thus this strategy used in the colder days. The Passive Solar Heating (Zone 8) strategy points to 10.24% for use of a natural heating resource, taking advantage of solar radiation heating through the openings to achieve thermal comfort temperature inside the rooms.

In the winter period (SPINELLI et al., 2017) with 0.47% to the Artificial Heating strategy can be disregarded due to the low percentage of probability of use. Presenting approximately 15% of the days / year, the strategies of Zones 2 (Natural Ventilation), 10 (Natural Ventilation / High Thermal Inertia) and 11 (Natural Ventilation / High Thermal Inertia / Evaporative Cooling), correspond to the summer climate. Considering the possibility of using Zone 7 for winter, added with Zones 10 and 11 for summer, the strategy of High Inertia presents the total percentage of 36.5% of days of the year of use, being able to be considered in the projects of buildings the application of thermal insulation in buildings.

## **2.2. Prototypes**

For the development of the study were executed three prototypes, with dimensions of 60 x 60 cm and height of 64 cm. For its base and cover were used reinforced concrete slabs, with dimensions of 80 x 80 cm and 5.0 cm of thickness. The masonry was executed with solid ceramic blocks 11.5 cm thick and accented with mortar, a material widely used in the study region. In the roof was applied polyurethane insulation metal (5.0 cm), to minimize the transfer of heat by the horizontal surface. In Prototype 1 no facade cladding was applied, Prototype 2 was coated with corncob insulation boards, and for Prototype 3 the facade cladding plates were made with acrylic and vacuum interior.

The coatings of Prototypes 2 and 3 were made with dimensions of 32 x 30 x 4.2 cm, and mortar finish. The corn cob applied to the plates used in Prototype 2, were crushed, inserted in a plastic container. At the end, the coating of the plates began to be finished, being first performed with a 1.0 cm thick layer in mortar, and thus placing thermal insulation material. Subsequently, the second layer of mortar was applied, also with a thickness of 1.0 cm (Fig. 2).

For the development of the facade cladding applied in Prototype 3, acrylic boxes with dimensions of 28 x 26 x 2.2 cm were executed using laser cutting technology, and then bonded with high strength adhesive material (Super Bonder Power Flex Gel). Inside the plates, reinforcements were executed, also in acrylic, so that in the air removal did not



deform the larger faces. On the side of the acrylic box was made a 1.10 cm opening, in which a plastic sealing device was applied, where the air was removed (Fig. 3). After the gluing of the sealing device, three days were left to dry the glue. To test the plaque seal, they were submerged in a vessel with water and checked if any of them had infiltration, adjusting some parts. After the adjustments were made, the tests were again applied to the parts.

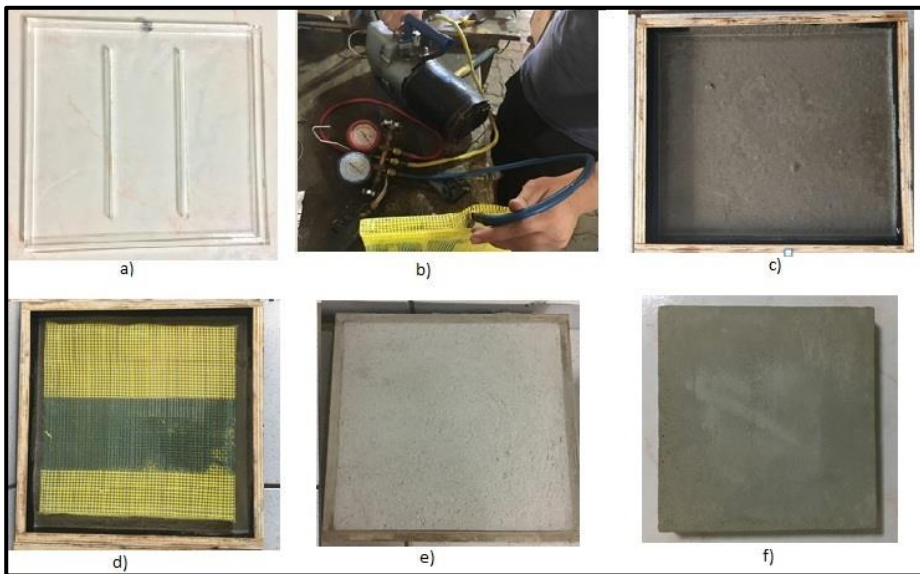
**Fig. 2 – Process of manufacturing the coating plates of Prototype 2. Execution of the first layer of mortar; Layer of corn cob; Application of the second layer of mortar.**

**Fig. 3 – Design of Vacuum Coating Plates.**

Removal of air from the interior of the plates was performed by the sealing device in which a needle was coupled to a manometer fitted to a pressure gauge connected to a

compressor. With the removal of air, the internal pressure recorded in the box was -5.89 Psi, indicating the absence of air (vacuum). Finally, the coating of the plates began to be finished, being first performed with a 1.0 cm thick layer in mortar, and thus positioning the acrylic box with the vacuum layer, wrapped with the glass fiber screen. Subsequently, the second layer of mortar was applied, also with a thickness of 1.0 cm (Fig. 4).

After the construction of the Prototypes, the fixation of the plates in the facades of Prototypes 2 and 3 were carried out with the aid of metallic supports, and in the roof placed metal tile with thermal insulation of polyurethane (Fig. 5).



**Fig. 4 – Execution of the vacuum coating plate: a) Acrylic plate with laser cutting technology; b) Compressor and manometer for withdrawal of air - vacuum; c) First layer of mortar; d) Insertion of the acrylic box with vacuum layer wrapped with glass fiber cloth; e) Second layer of mortar; f) Final proposed element.**



**Fig. 5 – Installation Facade Plates, and Finished Prototypes.**

### **2.3. Data collect**

In order to collect data related to the study, PT 100 (thermoresistor sensor) sensors connected to a datalogger (FieldLogger 512K) were used to store the data in the 15-minute interval, external ( $T_e$ ) and internal ( $T_i$ ) of the Prototypes 1, 2 and 3. The stored data were transferred to a computer through a spreadsheet, and the days with significant external temperatures were analyzed, with intense heat recording. The study period corresponds to the months of October 2017 to May 2018. Solar radiation, wind and precipitation data were also collected from the University of Vale do Taquari - Univates, registered by the meteorological station Vantage Pro 2, of Davis brand, with sensor coupled model 6450.

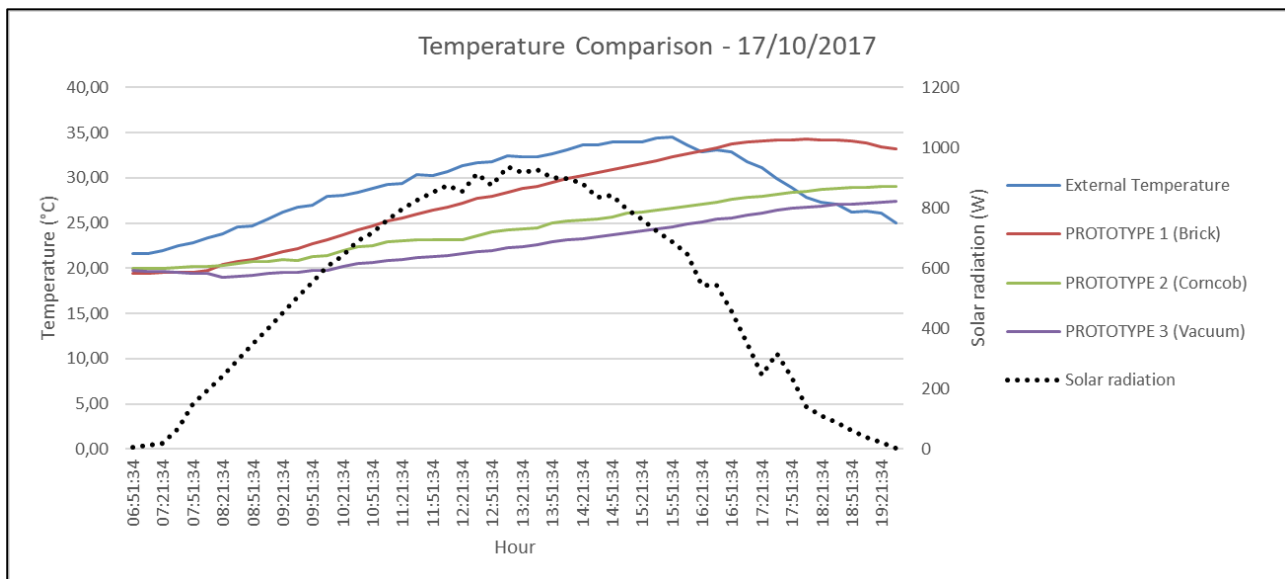
## **3. Results**

After the data were collected and sorted, we selected the days in which  $T_e$  maximums and solar radiation levels for the periods were presented. These data were transposed in comparative graphs, together with the  $T_i$  of the Prototypes 1, 2 and 3, and verified the time period necessary to reach the maximum  $T_i$  (thermal delay).

### **3.1. Data analysis**

The data arranged on October 17, 2017, have the maximum temperature of  $34.50^\circ \text{C}$ , the prototype  $T_i$  recorded at the same time of  $32.30^\circ \text{C}$ , the  $T_i$  of Prototype 2 of  $26.60^\circ \text{C}$ , and  $T_i$  of Prototype 3 of  $24.60^\circ \text{C}$ , differences of  $2.50^\circ \text{C}$ ,  $7.9^\circ \text{C}$  and  $9.90^\circ \text{C}$  in relation

to Te. A maximum solar radiation recorded at 938 W / m<sup>2</sup>, occurring steadily and uniformly, with some recorded cloudiness. The maximum of Ti Prototypes 1 (34,30 ° C), 2 (29,00 ° C) and 3 (27,50 ° C) occurred, respectively, with 1:45 min, 3h15min and 4h of A Teima of the day ( Graph 2), and its consistency of a temperature of 5.5 ° C (Prototype 2) and 7 ° C (Prototype 3) between the outer and inner maxims. The largest external temperature difference in relation to Prototype 3, at 2:15 p.m., with Te = 33.60 ° C, solar energy of 882 W / m<sup>2</sup>, and Ti = 23.30 C (difference of 10.30 C), maintaining the comfort temperature (ABNT, 2008).



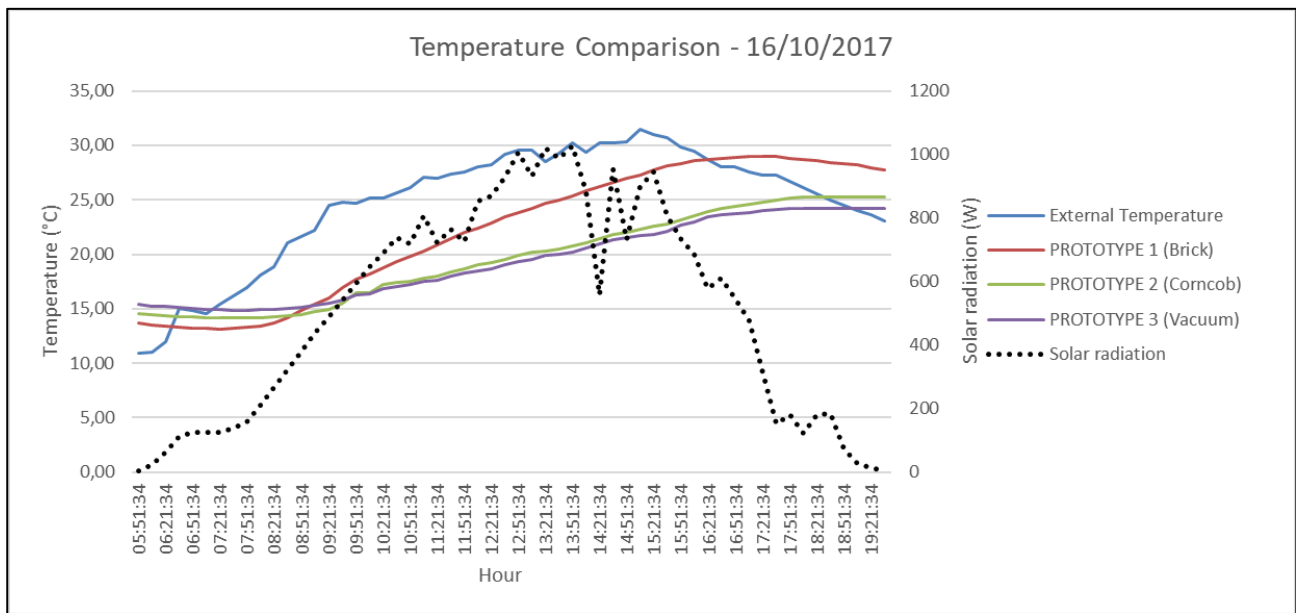
**Graph 2: Temperature Comparison 17/10/2017.**

Table 2 summarizes the relevant data collected for the first analysis phase. We highlight the Ti difference between Prototypes 1 and 2, with an average variation of 2.7°C, not being so efficient if we buy prototypes 1 and 3. The difference of Ti between Prototypes registered a mean variation of 8.0°C , differing on October 16, 2017 with 4.8 ° C (Graph 3), and April 8 and 4, 2018, with 4.7 ° C, which presented a high solar radiation index, and absence of constant winds.

**Table 2: Data Analyzed First Step. Note: For solar radiation V (variable) and C (constant).**

	PROTOTYPE 1 (WITHOUT ISOLATION)	PROTÓTIPO 2 (CORN COB)	PROTÓTIPO 3 (VACUUM)
--	---------------------------------	------------------------	----------------------

DATE	Te (°C)	SOLAR RAD. MAX.(W/m <sup>2</sup> )	Ti (°C)	THERMA L DELAY (h)	Ti MAX.(°C)	Ti (°C)	THERMA L DELAY (h)	Ti MAX.(°C)	Ti (°C)	THERMA L DELAY (h)	Ti MAX. (°C)
04/10/2017	32,40	979 – V	27,40	2h45min	31,30	22,60	3h30min	25,60	20,90	4h00min	24,60
05/10/2017	34,30	873 – V	31,20	2h00min	33,90	26,30	3h00min	28,80	24,10	3h45min	27,50
16/10/2017	31,50	1028 – V	27,30	1h45min	29,00	22,30	2h45min	25,30	21,70	2h30min	24,20
17/10/2017	34,50	938 – C	32,30	1h45min	34,30	26,60	3h15min	29,00	24,60	4h00min	27,50
24/10/2017	29,00	954 – C	26,50	2h15min	28,60	22,60	3h00min	25,40	19,20	3h15min	22,00
02/11/2017	31,70	1000 – C	29,80	2h00min	31,80	26,80	2h45min	28,50	22,20	3h15min	24,50
20/11/2017	31,60	1018 – C	28,10	2h00min	31,10	24,70	3h30min	28,20	18,00	3h45min	21,40
23/11/2017	33,20	1023 – C	28,90	1h30min	30,60	25,60	2h15min	27,60	17,90	3h45min	20,50
24/11/2017	33,90	999 – C	32,00	1h30min	33,40	28,70	1h30min	30,30	22,50	2h00min	24,10
02/12/2017	34,20	1154 – C	32,00	2h00min	33,80	28,50	2h15min	31,00	22,20	2h45min	24,70
06/12/2017	35,00	999 – C	31,90	2h45min	33,90	29,00	3h15min	31,50	22,50	4h15min	25,30
09/12/2017	33,40	1037 – C	29,50	2h45min	31,70	27,40	2h15min	29,10	20,30	3h30min	22,40
10/12/2017	36,90	1079 – V	33,40	2h45min	35,00	31,20	3h00min	33,20	23,90	3h00min	25,80
13/12/2017	38,10	1062 – C	34,40	1h00min	35,60	30,60	2h30min	33,20	22,90	2h45min	25,70
14/12/2017	36,40	953 - V	33,30	1h00min	34,00	31,40	1h15min	32,30	24,00	5h45min	27,20
15/12/2017	35,70	1014 – C	34,40	2h30min	35,30	30,50	3h00min	32,90	24,80	4h00min	27,90
16/12/2017	38,60	1127– V	34,60	4h00min	38,60	31,70	5h30min	35,90	26,60	5h15min	29,90
17/12/2017	37,90	934 – V	33,80	15min	34,50	32,40	15min	33,10	26,60	15min	27,30
21/12/2017	34,00	1170 – C	31,60	2h45min	33,30	29,20	3h00min	31,00	24,20	3h45min	26,90
22/12/2017	36,80	1161 – V	35,00	2h30min	36,10	32,30	2h45min	33,80	27,70	4h15min	29,40
26/12/2017	34,50	1039 – V	31,40	1h45min	33,30	27,80	2h45min	30,70	21,90	2h45min	25,10
27/12/2017	36,80	1167 – V	35,70	2h00min	36,50	33,00	2h00min	33,90	26,10	3h30min	29,10
28/12/2017	34,40	1006 – C	33,50	1h00min	34,10	31,00	2h15min	32,00	26,50	2h45min	27,90
29/12/2017	34,30	1260 – V	31,70	45min	32,80	29,60	1h00min	30,70	25,20	2h00min	26,40
31/12/2017	34,50	1175 – V	33,70	1h15min	34,80	31,20	1h45min	32,10	25,70	1h45min	26,80
01/01/2018	32,60	1045 – V	31,00	2h15min	32,70	29,80	4h15min	31,60	24,90	3h45min	26,40
03/01/2018	33,30	1197 – V	30,60	3h00min	32,10	28,90	2h15min	30,10	22,60	3h30min	23,70
04/01/2018	35,20	1042 – C	33,00	2h15min	35,90	29,60	4h00min	32,10	23,90	4h15min	26,90
05/01/2018	38,10	1086 – V	35,70	1h45min	37,20	32,80	2h00min	34,40	26,30	1h45min	27,90
08/01/2018	31,20	1191 – V	31,00	1h30min	32,00	28,80	1h45min	29,80	23,50	2h00min	24,70
09/01/2018	33,00	1029 – C	32,80	1h00min	33,40	30,20	1h30min	31,20	24,40	2h15min	26,00
08/02/2018	36,60	997 – C	34,00	2h45min	37,60	30,80	3h45min	34,00	22,10	4h30min	25,40
09/02/2018	36,90	1108 – V	33,50	4h15min	35,20	31,20	4h15min	33,50	22,50	4h15min	24,70
10/02/2018	33,30	1086 – V	30,10	3h30min	32,90	28,40	4h00min	31,20	19,10	4h30min	22,70
16/02/2018	33,70	1000 – C	31,04	1h45min	32,80	28,80	1h45min	30,30	19,70	2h15min	21,50
17/02/2018	35,10	1028 – C	32,60	1h45min	34,70	29,10	2h30min	31,90	19,60	3h15min	22,70
18/02/2018	35,50	1024 – C	33,90	2h15min	36,80	30,80	3h45min	33,70	22,10	4h30min	25,00
21/02/2018	31,50	1099 – V	28,20	15min	28,50	26,50	30min	26,80	16,90	30min	17,10
25/02/2018	32,80	979 – C	31,10	1h45min	32,40	28,80	2h15min	30,30	19,00	3h00min	20,40
26/02/2018	31,90	1049 – C	29,90	2h00min	31,90	27,90	2h30min	29,80	18,10	4h30min	20,90
28/02/2018	31,70	1045 – V	29,40	1h15min	30,90	27,50	3h30min	29,50	17,70	3h00min	19,70
01/03/2018	33,80	1034 – V	32,00	1h00min	32,70	30,40	45min	31,00	20,00	1h15min	20,90
02/03/2018	33,10	1052 – V	31,00	2h45min	32,90	29,10	2h45min	30,70	19,70	2h45min	21,00
03/03/2018	30,90	789 – V	28,50	3h15min	31,10	27,30	3h30min	29,20	17,60	3h30min	19,30
04/03/2018	31,40	930 – V	27,40	7h00min	32,20	26,20	7h30min	29,80	16,90	7h30min	19,80
05/03/2018	35,40	996 – C	33,90	2h30min	36,10	31,20	2h45min	32,80	21,60	3h30min	23,40
06/03/2018	32,40	1016 – V	30,90	1h30min	32,30	29,40	1h45min	30,50	19,70	1h45min	20,80
23/03/2018	32,30	1044 – V	27,20	4h30min	30,00	24,00	6h00min	28,00	19,70	5h45min	23,20
24/03/2018	32,70	516 – V	27,00	2h00min	29,20	26,20	2h45min	28,10	21,90	2h45min	23,60
29/03/2018	31,10	1054 – V	27,70	3h00min	30,00	26,20	3h15min	28,20	21,30	3h30min	23,30
30/03/2018	30,20	918 – V	27,70	2h15min	29,60	26,20	3h30min	28,00	22,20	3h15min	24,00
07/04/2018	33,40	786 – V	31,70	3h45min	33,30	27,20	4h30min	29,70	25,60	4h45min	28,10
08/04/2018	32,30	767 – C	31,00	1h15min	32,40	27,40	2h00min	29,50	25,80	3h15min	27,70
09/04/2018	32,20	762 – C	31,30	2h15min	32,90	27,70	2h30min	29,70	26,00	3h45min	28,00
10/04/2018	33,40	773 – V	32,10	2h00min	34,90	28,30	3h15min	30,80	26,40	3h30min	29,00
11/04/2018	35,50	757 – C	33,90	2h30min	37,50	29,70	3h45min	32,90	27,90	3h30min	31,00
12/04/2018	36,20	801 – C	34,70	2h15min	37,70	30,40	3h15min	33,10	28,50	3h45min	31,20
18/04/2018	32,30	760 – C	29,90	3h15min	33,30	25,80	4h15min	29,40	23,60	4h15min	27,20
19/04/2018	32,70	727 – C	31,40	2h45min	35,20	26,90	3h45min	30,20	25,20	4h15min	28,40
22/04/2018	31,80	711 – C	28,70	4h00min	32,90	24,80	5h00min	28,60	22,60	5h00min	26,80
23/04/2018	31,50	705 – V	29,30	45min	30,20	27,00	3h00min	28,50	24,90	2h45min	26,30
24/04/2018	30,80	821 – V	28,30	2h00min	29,90	26,20	3h00min	28,20	24,20	2h45min	26,10
25/04/2018	31,60	705 – V	28,70	2h00min	31,00	26,40	4h15min	29,10	24,60	4h30min	27,20
28/04/2018	32,90	661 – C	31,20	2h30min	34,80	27,20	3h45min	30,40	25,00	3h30min	28,20
29/04/2018	33,50	678 – C	31,50	2h15min	34,70	27,40	4h00min	30,90	25,50	3h45min	28,70
08/05/2018	30,00	664 – C	28,20	2h45min	30,30	24,40	4h00min	27,10	22,30	3h30min	24,80
10/05/2018	30,00	625 – V	28,10	2h00min	29,40	25,30	3h00min	27,20	21,70	3h15min	23,40



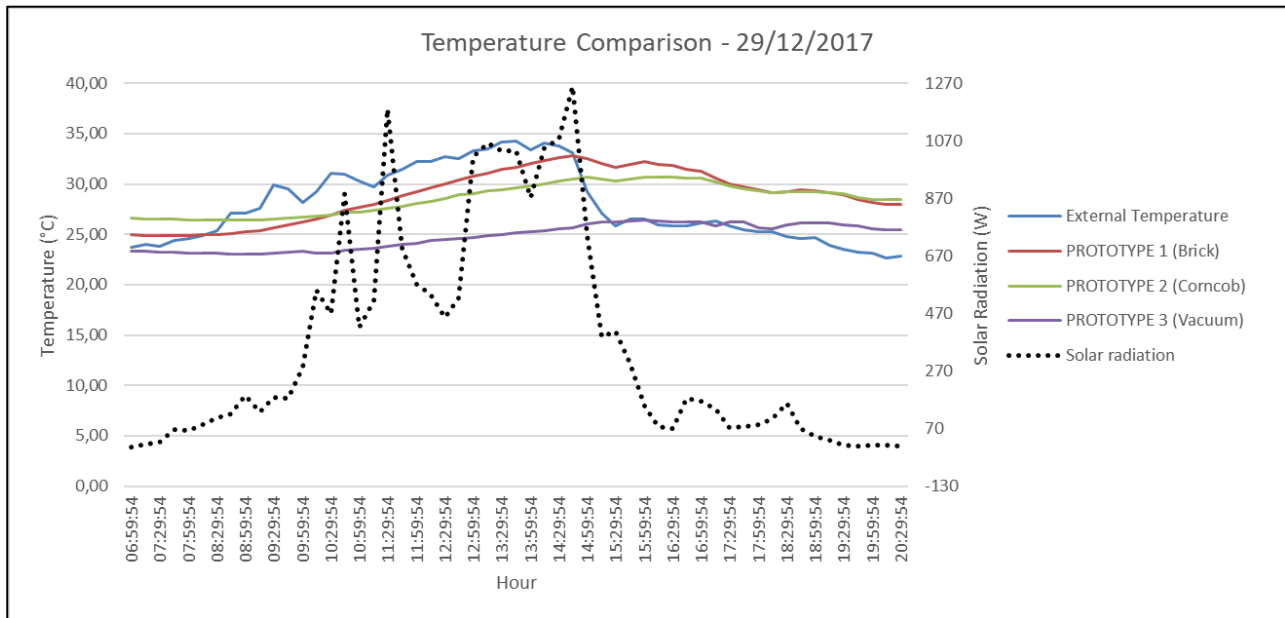
**Graph 3: Temperature Comparison 16/10/2017.**

For these dates, cloudiness periods were recorded for the afternoon period, and a high percentage of relative air humidity, which may have helped to increase  $T_i$ . It is important to analyze the thermal delay for Prototypes 2 and 3, being always exceeding 2h and 3h, even in periods of high and constant solar radiation. It is important to point out that, for 10/16/2017, the maximum  $T_i$  of Prototype 3 remained constant for a period of time up to 2h, that of Prototype 2 remained constant in the interval of 1h45min, while in Prototype 1, this time interval was reduced, of only 30min, causing in the rapid loss of heat.

The date of 12/29/2017 recorded the maximum solar radiation index during the experiment period with  $1260 \text{ W / m}^2$ , even with strong cloudiness, and reached the maximum of  $34.30^\circ \text{ C}$ . The variation of  $T_i$  presents more intense for Prototypes 1 and 2, being for a long period of the day surpasses to  $30^\circ \text{ C}$ , above the ideal temperature of comfort. In prototype 3 the  $T_i$  variation remains small, of  $3.30^\circ \text{ C}$ , while Prototypes 1 and 2 had a  $T_i$  variation of  $7.90^\circ \text{ C}$  and  $3.90^\circ \text{ C}$ . It stands out the strong fall of the solar radiation and  $T_e$  in the beginning of the afternoon, due to the occurrence of rain. It is evident the thermal insulation capacity applied in Prototypes 2 and 3, but Prototype 2  $T_i$  is always superior to



Prototype 3, due to the accumulated heat content of the previous day, and the higher density of the insulation material (Graph 4).

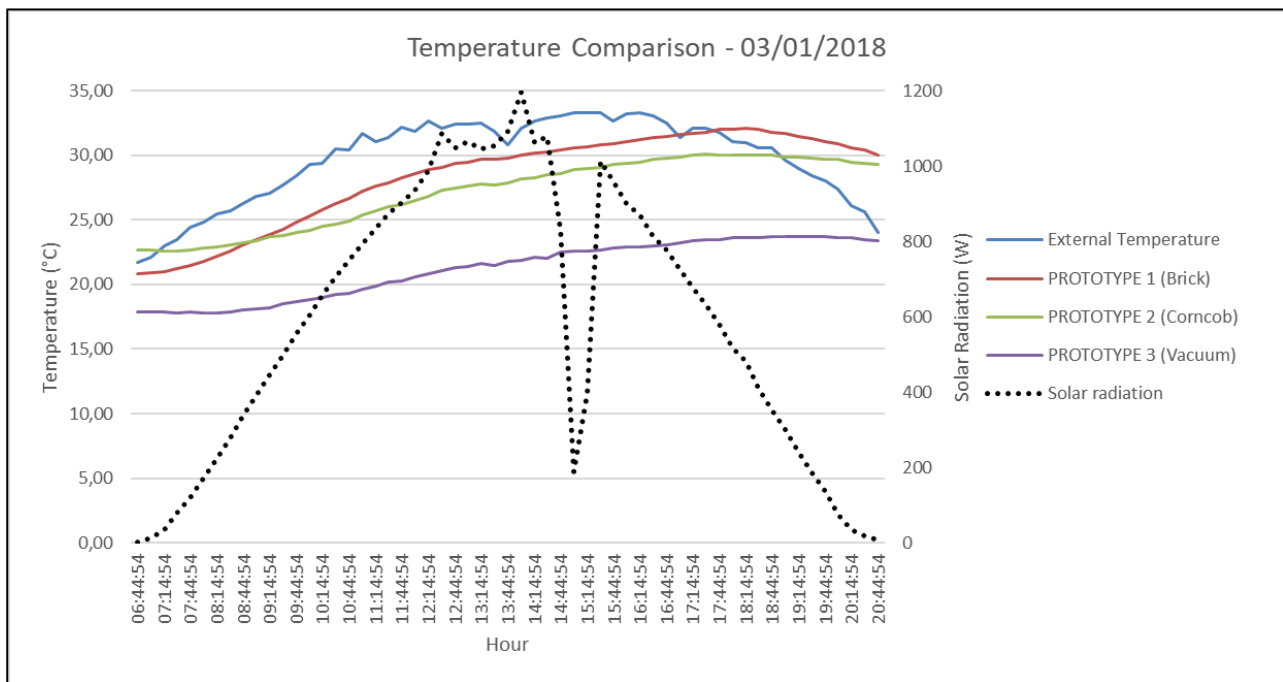


**Graph 4: Temperature comparison 29/12/2017.**

It is evidenced the high-density index of the insulation material at the moment of heat loss of the internal environment, with a value of 4 ° C in Prototype 1, 2,20 ° C in Prototype 2 and 0,80 ° C in Prototype 3, for a period of 4 hours. Thus, the thermal insulation material with the vacuum layer stands out in relation to the material applied with the use of corn cob.

On 03/01/2018, it had the second highest recorded solar radiation index, value of 1197 W / m<sup>2</sup>, and Te variation of 14.20 ° C. Prototype 3 recorded maximum Ti of 23.70 ° C, remaining within the comfort temperature range, as presented in NBR 16401 (ABNT, 2008). For Prototypes 1 and 2, maximum Ti was higher than 30.00 ° C.

The absence of insulation in Prototype 1, caused a Ti variation of 11.30 ° C, and the heat accumulated from the previous day in Prototype 2, the recorded Ti variation of 7.50 ° C (Graph 5).



Graph 5: Temperature comparison 03/01/2018.

### 3.2. Data analysis – 48h period.

Thus, it becomes important to analyze the behavior of the materiality of the Prototypes for a 48h interval, and thus to analyze the behavior regarding the accumulation / loss of heat between the diurnal and nocturnal periods. For this analysis, the days that presented high solar radiation rates, Te and Ti were selected.

In the period of 21 and 22 December 2017 (Graph 6), the solar radiation index approaches  $1200 \text{ W} / \text{m}^2$ , highlighting the accumulation of atmospheric heat, with high Te indexes, mainly on day 22, higher than  $35 \text{ W}$ . To this day, the solar radiation was in constant elevation in the morning, contributing to the accumulation of heat. Graph 6 shows the constancy in the Ti difference of the prototypes, with loss of heat for the night, but more accelerated in Prototype 1, due to the absence of insulation. Prototype 2 showed a Ti index higher than  $33.00^\circ \text{C}$ , while in Ti prototype 3 Ti was recorded at  $29.40^\circ$

The variation of Te and Ti from day 21 to day 22, which remained constant, with a difference of maximum of  $2.80^\circ \text{C}$  for Te and Ti of Prototypes 1 and 2, and of  $2.50^\circ \text{C}$  for Ti of Prototype 3. By maintaining the similar difference, and in a lower register, the

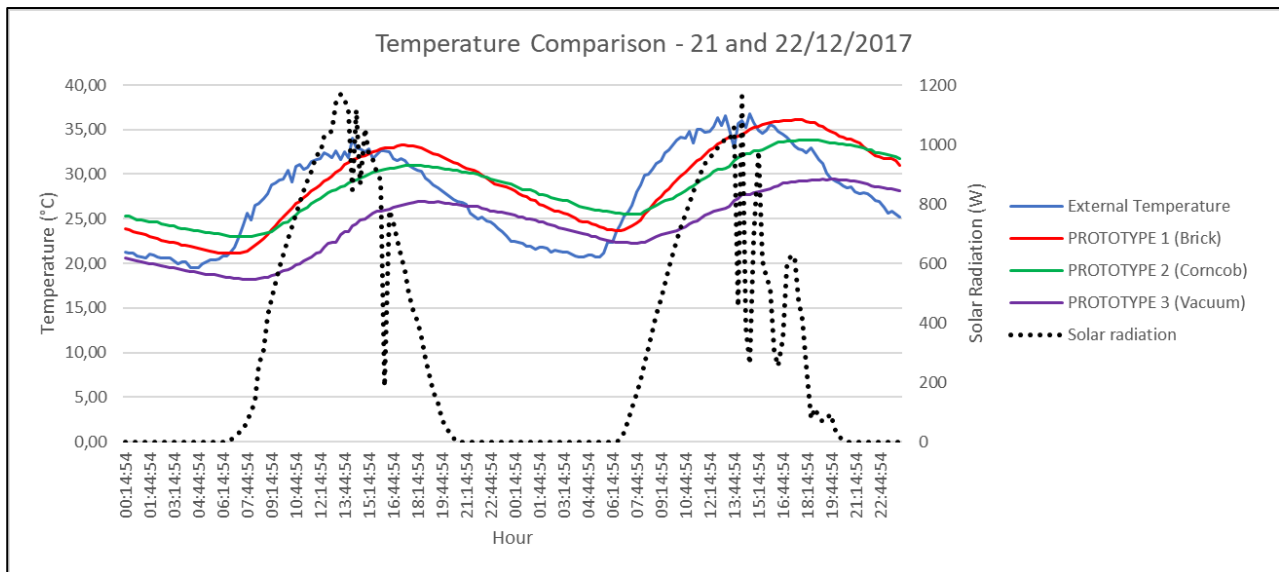


accumulation of heat in the internal environment from one day to the other is not characterized.

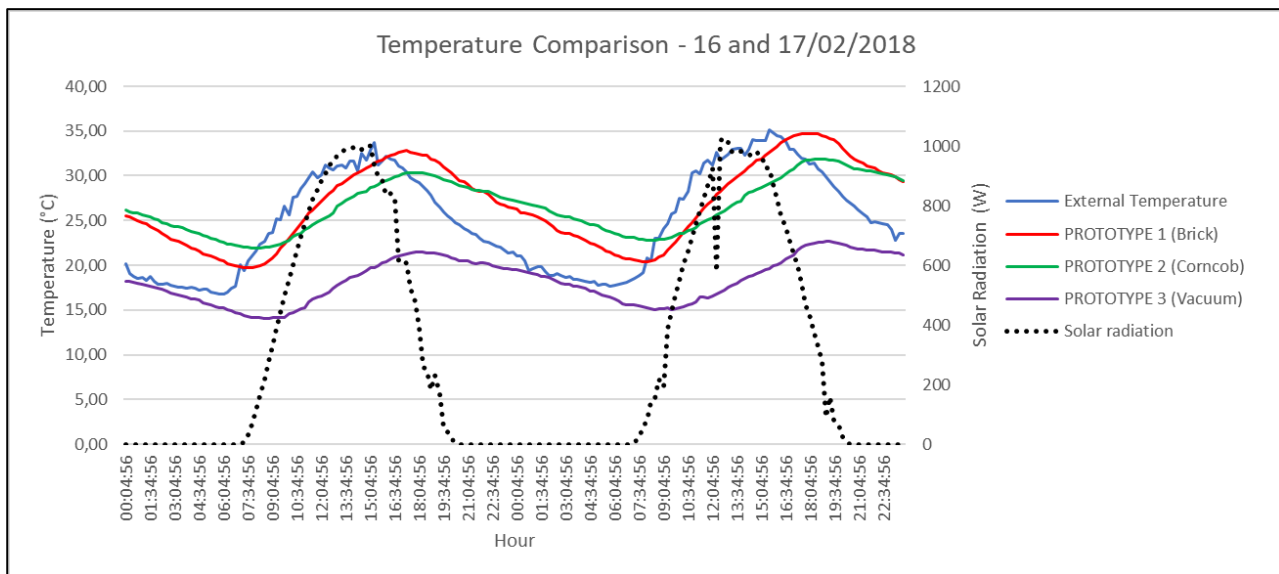
The data recorded for the days 16 and 17 of February of 2018 (Graph 7), stands out a small variation of the solar radiation index of overnight ( $28 \text{ W / m}^2$ ), and a difference of  $1.40^\circ \text{ C}$  to  $T_e$  on the second day. The variation of  $T_i$  of Prototype 1, recorded at  $1.90^\circ \text{ C}$ , and Prototype 2 of  $1.60^\circ \text{ C}$ , higher than the variation of  $T_e$ , can be considered here, and therefore the heat accumulation can be considered. For Prototype 3, the  $T_i$  variation recorded was  $1.20^\circ \text{ C}$ , lower than the  $T_e$  variation, thus not characterizing the accumulation of heat.

### **3.3. Featured Pathologies**

Due to the prototypes being exposed to direct solar radiation, rain, wind, and constant temperature changes, there were cracks in the coating plates in vacuum insulation. Such pathology probably occurred due to the difference in thermal expansion of the materials, as well as the lack of adhesion between acrylic and mortar. The behavior of the fissures was collected periodically, and during the study period, there was no worsening of the pathologies, and there were no falls of mortar parts. It can be said that this behavior is related to the use of fiberglass mesh, improving the adhesion between materials. For the insulation coating plates based on corncob, they did not present visible pathologies, and should undergo an in - depth analysis in this case, because the materials with different behavior to heat, dilating differently.



**Graph 6: Temperature comparison 08 e 09/01/2018.**



**Graph 7: Temperature comparison 16 e 17/02/2018.**

## 4. Conclusions

With the growing environmental concern, the importance of the use of constructive components that contribute to a lower energy consumption and of fossil fuels in the manufacturing process, as highlighted by Dutra (2010), stands out.

Concluding the analysis of the presented data, it is verified that the data analyzed for Prototypes 2 and 3, in which the coating plates were fixed with application of corncob and vacuum layer, registered a significant reduction of  $T_i$  when compared to Prototype 1

(uncoated) and Te. The reduction of Ti to Prototype 3 is more markedly emphasized. When the data of the 67 days recorded in Table 2 were analyzed, the mean value recorded for the maximum Ti difference between Prototypes 3 and 1 was 8,05 ° C, while the mean difference for Prototypes 2 and 1 was 2.74 ° C.

It is important to emphasize that either Ti data presented according to the parameters established by NBR 16401-2 (2008) and by Givoni (apud LAMBERTS; DUTRA and PEREIRA, 2004), and it is necessary to deepen the study related to the percentage of relative humidity air.

For the data recorded in relation to Prototype 2, it is worth mentioning that in previous studies, they already present information when the thermal conductivity of the billet bush applied for thermal insulation ( $\lambda = 0,057 \text{ W/m.K}$ ), (ASDRUBALI et al., 2015), being necessary the revision of the method of application of the material in constructions, considering that the index is considered ideal for its use, but did not present efficient in its application in the prototype.

It is also worth noting that the study is still under development, seeking to deepen the information related to the determination of the thermal conductivity of the plate with vacuum interior (following the Hot Plate and Cold Plate methods, according to NBR 15.220 (2003), so that consistent data can be used in the development of computational simulation for the energy efficiency of buildings.

## **Acknowledgments**

Thanks to the University of Vale do Taquari – UNIVATES, for the encouragement and support of research.

## **References**

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro. 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575: Edificações Habitacionais: Desempenho – Parte 4**. Rio de Janeiro. 2013b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16401: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASCHEHOUG, Ø.; ANDRESEN, I. “**State of the Art Review. Volume 1 State of the Art Report**”, in: HEISELBERG, P. (Ed.) Annex 44 Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 2008.

ARO, Celso R; AMORIM, Simar V. “**As inovações tecnológicas no processo de produção dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários**”, Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, e 1º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, 12 a 21 julho, São Paulo, Brasil, 2004.

ASDRUBALI, Francesco; SCHIAVONI, Samuel, HOROSHENKOV, K.V. “Review of sustainable materials for acoustic applications”. **Building Acoustics**. V. 19, n. 4, 283–312. 2012.

ASDRUBALI, Francesco; D’ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI; Samuel. “A review of unconventional sustainable building insulation materials”. **Sustainable Materials and Technologies**. V.4, julho, 1–17. 2015.

ASDRUBALI, Francesco; D’ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI; Samuel, MENCARELLI, N. “**Sound absorption properties of reed**”. 22nd International Congress on Sound and Vibration 2015, julho, Florença, Itália. 2015.

BIANCHI, Irena J.S.S. “**Isolantes térmicos empregados na construção civil de residência**”. III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento. São Paulo, Taubaté, Brasil, 2014.

BOAFO, F.E.; CHEN, Z.; LI, C.; LI, B.; XU, T. “Structure of vacuum insulation panel in building system”. **Energy and Buildings**, V. 85, 644–653. 2014.

BOAFOA, F.E.; KIMA, J.T.; CHEN, Z. “Configured cavity-core matrix for vacuum insulation panel: Concept, preparation and thermophysical properties”. **Energy and Buildings**. V. 97, 98–106. 2015.

BRASIL. Safra de grãos 2016/2017 deve chegar a 227,9 milhões de toneladas. **Portal Brasil**. Brasília, Brasil. 2017.

CAMBEIRO, Faustino P.; ARMESTO, Julia; BARBEITO, Faustino P.; BASTOS, Guillermo. “Perspectives on Near ZEB Renovation Projects for Residential Buildings: The Spanish Case”. **Energies**. V. 9, n. 8, p. 2-16. Ago. 2016.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: Conforto ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

DUTRA, Miguel R. **“Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas: Análise do comportamento”**. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Porto, Portugal. 2010.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) – 2004-2017**. Ministério de Minas e Energia, Brasília, Brasil. 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **“O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia”**. Ministério de Minas e Energia, Brasília, Brasil. 2016.

European Parliament and of the Council - Directive 2010/31/EU. **Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)**. Bruxelas, 19 de maio de 2010.

GALLO, P.; ROMANO, R. **Adaptive Facades, Developed with Innovative Nanomaterials, for a Sustainable Architecture in the Mediterranean Area**. [s. l.], 2017.

GALLO, P. **“Sustainable habitat: market trends and testing of innovation products”**, in Proceedings of 30th INTERNATIONAL PLEA CONFERENCE 16-18 December 2014, CEPT University, Ahmedabad.

GIL, Antonio C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

INDAC. Instituto Nacional para Desenvolvimento do Acrílico. **Acrílico, do começo ao fim**. ([S.d.]).

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2. ed. São Paulo: ProLivros, 2004.

MARTINS, Marcelo G.; BARROS, Mercia M. S. B. **A Formação de parcerias como alternativa para impulsionar a inovação na produção de edifícios**. 30f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MORETTI, Elisa; BELLONI, Elisa; AGOSTI, Fabrizio. “Innovative mineral fiber insulation panels for buildings: Thermal and acoustic characterization”. **Applied Energy**. V. 169, n. 1, 421-432. 2016.

PERINO, M.; **“State of the Art Review. Volume 2 A Responsive Building Elements”**, in: HEISELBERG, P. (Ed.) Annex 44 Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 2008.

PORTO, Thomás M. S. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. 2016. 93f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SPINELLI, R.; KONRAD, Odorico; CAMBEIRO, F. Patiño; AHLERT, Edson; SPINELLI, Fabiana Braun; QUADROS, Eric Augusto. "Bioclimatic Strategies for The City of Lajeado/Rs-Brazil, Using Data Analysis of Regional Climate". **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 2, 153-171. Curitiba, Brasil. 2017.

SPINELLI, R.; MOTTIN, Maurício H.; CAMBEIRO, F. Patiño; KONRAD, Odorico. "Facades Thermal Insulation: Decrease of Energetic Consumption of Buildings on Bioclimatic Zone Two". **Sustentabilidade em Debate**. V. 9, n.1, p. 172-186. Abr. 2018. Brasília, Brasil.

WIGGINTON, M; J. HARRIS, J. "Intelligent Skins", **Architectural Press**, Oxford, 2002.

## 7 SEXTO ARTIGO

### ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS COM UTILIZAÇÃO DE ELEMENTO VEGETAL.

SPINELLI, R.; CARNEIRO, Luã; PASQUALI, P. H. D.A.; PITOL, A. F.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Isolamento Térmico de Fachadas com Utilização de Elemento Vegetal. **Simpósio Mundial de Sustentabilidade, Conferência Internacional Bridge**. Florianópolis, 2019.

Artigo publicado nos anais do **Simpósio Mundial de Sustentabilidade, Conferência Internacional Bridge**, que ocorrerá na cidade de Florianópolis/SC, no período de 17 a 19 de setembro de 2019, na sede da Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. Artigo selecionado para publicação na revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental - ISSN 2238-8753. O periódico possui estrato superior Qualis B2 em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

# ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS COM UTILIZAÇÃO DE ELEMENTO VEGETAL.

**Rodrigo Spinelli (1); Luã Carneiro (2); Pedro Henrique Dall Agnol Pasquali (3); Alana Francischett Pitol (4); Faustino Patiño-Cambeiro (5); Odorico Konrad (6)**

(1) Arquiteto, doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD),  
rspinelli@univates.br.

(2) Engenheiro Civil, carneiro.l@hotmail.com.

(3) Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo, pedro.pasquali@universo.univates.br.

(4) Engenheira Civil, mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD),  
alana.pitol@universo.univates.br.

(5) Doutor, Professor pela Universidade de Vigo, faustinopc@gmail.com, Universidade de Vigo, C.P. 36.310 Vigo (Pontevedra), Espanha, +34 986 812 000.

(6) Doutor, Professor do PPGAD, okonrad@univates.br.

Universidade do Vale do Taquari - Univates, Avenida Avelino Talini, 171 - Bairro Universitário, Lajeado/RS - Brasil, 0800 7070809.

## RESUMO

O consumo de energia elétrica tem demonstrado significativo aumento. A utilização de isolamento térmico se tornou uma das alternativas aplicadas na construção civil, com o objetivo de diminuir a necessidade de equipamentos de climatização. Surge então, a necessidade do desenvolvimento de materiais para a construção civil ecologicamente corretos, visando a sustentabilidade e o conforto dos usuários. O desenvolvimento de materiais naturais, sendo alternativos e renováveis, tem sido um dos pontos de estudo e pesquisa aplicada ao desempenho térmico de edificações. O estudo tem como objetivo desenvolver um painel de isolamento térmico para aplicação em fachadas, utilizando a casca de pinheiro. A pesquisa se desenvolve a partir de metodologia exploratória, em que executadas placas de revestimento de fachada em argamassa, com interior em casca de pinheiro aplicadas em protótipo. Para analisar sua funcionalidade como isolante térmico, foram registrados dados de temperatura interna e externa, utilizando sensores do tipo DHT03, comparando os com dados coletados em protótipo idêntico, porém, sem aplicação de revestimento de fachada. Através do dimensionamento de carga térmica e análise do consumo de energia de forma comparativa entre os protótipos, a aplicação das placas de isolamento resultou na redução de, aproximadamente, 50% do consumo energético.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Isolamento térmico, Eficiência energética.

## ABSTRACT

The consumption of electricity has shown significant increase. The use of thermal insulation has become one of the alternatives widely applied in civil construction, in order to reduce the need for the use of air conditioning equipment. Thus, the need for the development of environmentally correct materials for civil construction is presented, aiming at the sustainability and comfort of its users. The development of natural materials, being alternative and renewable, has been one of the points of study and research applied to the thermal performance of buildings. The study aims to develop a thermal insulation panel for application in facades using pine bark. The research develops from an exploratory methodology, in which facade cladding boards are executed in mortar, with interior in pine bark applied in prototype. In order to analyze its functionality as a thermal insulation, internal and external temperature data were recorded using DHT03 type sensors, comparing them with data collected in identical prototype, but without the application of facade cladding. Through the design of thermal load and analysis of the energy consumption in a comparative way among the prototypes, the application of the insulation plates resulted in a reduction of approximately 50% of the energy consumption.

Keywords: Sustainability, Thermal insulation, Energy efficiency



## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das maiores geradoras de impactos ao meio ambiente, seus serviços na área de construção, operação, reforma e demolição de edifícios, ocasionam a destruição ambiental por meio de seu alto consumo de recursos naturais e da grande quantidade de resíduos gerados, e esses fatos levaram a engenharia civil a estudar construções sustentáveis, desenvolvendo conceitos e serviços ambientalmente corretos (VILHENA, 2007). A construção sustentável tem como um dos seus principais objetivos, planejar e construir uma edificação que não seja prejudicial ao meio ambiente, além de ter como finalidade o conforto e a qualidade de vida dos habitantes (GANHÃO, 2011).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), o Brasil apresentou um aumento de 2,9% no consumo de energia elétrica, totalizando 40.371GWh no mês de março de 2017, dados que foram comparados ao mesmo mês do ano anterior. Se tratando somente do consumo energético em residências, houve um aumento no mês de março de 2017 de 7,8% em relação a março de 2016 (EPE 2017), com esse cenário preocupante, o uso de energia tem tido uma ênfase especial, a fim de promover estratégias para o consumo eficiente e ecológico de energia (SANTOS, 2010).

Para Carlo (2008), o consumo de energia está diretamente ligado ao uso de sistemas e equipamentos consumidores, tais como, o ar-condicionado e aparelhos de iluminação artificial, e uma das formas de minimizar a necessidade de utilização desses sistemas e equipamentos e assim, para diminuir o consumo de energia se faz necessária a análise de tipo e qualidade dos materiais utilizados na envoltória dos edifícios, suas características e propriedades térmicas. Carlo (2008) diz que:

Dentre os conceitos que compõem uma edificação sustentável, destaca-se a racionalização do uso da energia através da eficiência energética. A eficiência energética é adotada em projetos de edificações a fim de racionalizar o consumo evitando desperdícios sem comprometer os serviços necessário à saúde, segurança, conforto e produtividade do usuário de uma edificação (CARLO, 2008, p. 2-3).

De acordo com Correia (2017), a utilização de materiais para isolamento térmico aplicados no exterior de fachadas, é uma ótima solução construtiva, que pode ser utilizada com a finalidade de melhorar a eficiência energética dos edifícios e assim minimizar o consumo de energia. Segundo Ganhão (2011), nas fachadas de edifícios, o isolamento térmico pode ser aplicado pelo exterior, pelo interior ou ainda na caixa de ar aplicado entre paredes duplas, mas preferencialmente sua aplicação deve ser feita pelo exterior da edificação de forma contínua, devido a um maior número de benefícios.

O método de aplicação do isolamento térmico pelo exterior, é considerado uma solução versátil, de fácil aplicação e eficiente, que tem o acabamento como uma de suas principais vantagens devido as inúmeras possibilidades de execução, que pode ser escolhido a gosto do cliente e/ou projetista. O sistema de isolamento térmico traz benefícios ao meio ambiente, ao edifício e ao próprio utilizador, além de várias razões consideradas importantes para a escolha do método de aplicação pelo exterior, como por exemplo o aumento do espaço útil coberto, pela não utilização de paredes duplas, e o aumento da vida útil do edifício e do menor custo de manutenção, devido a proteção ao envoltório da edificação (ROMÃO, 2015).

Os materiais de isolamentos térmicos utilizados no setor da construção civil, podem ser classificados de acordo com sua natureza, sendo sintética, mineral, animal ou vegetal. Entre os inúmeros materiais que existem dentro dessa classificação, podem ser citados como uns dos mais convencionais, a lã de rocha, fibra de vidro, poliuretano, poliestireno expandido (EPS) e poliestireno extrudado (XPS), em que a maioria deles causam um grande impacto ao meio ambiente em seu processo de produção (SILVA, 2013).

Para Asdrubali et al. (2015), os materiais que geralmente são usados no isolamento de edificações, são de origens petroquímicas, como o poliestireno, ou de origens naturais, mas que em seus processos de fabricação consomem grande quantidade de energia, como a lã de rocha e lã de vidro. A criação de materiais alternativos para isolamento térmico que sejam ecologicamente corretos é uma preocupação constante, surgindo assim a ideia de utilizar materiais naturais, que sejam renováveis e que se encontrem com maior facilidade e abundância no meio ambiente (MARCOS, 2016).

### **1.1. Utilização de materiais naturais como isolamento térmico**

A sustentabilidade é de grande importância na construção civil e deve ser considerado em todas as fases da construção, inclusive na escolha do material usado para isolamento térmico. Devido a esses materiais utilizados serem frequentemente de origem sintética, a análise e estudo de novos materiais com origem natural, é de extrema importância (MARCOS, 2016). O conceito de sustentabilidade reintegrado nos sistemas de construção de projetos, é o motivo dos estudos e pesquisas remetidas a procura de novos materiais de origem natural ou reciclados para utilização como isolantes térmicos e acústicos (ASDRUBALI et al., 2015).

Segundo estudos realizados por Marcos (2016), a microestrutura do granulado da casca de pinheiro, realizada através de imagens, que foram ampliadas para as escalas respectivamente de 500µm e de 100µm, apresentam uma estrutura perfeita e muito semelhante a do XPS. No estudo, a evolução da temperatura e o fluxo de calor do granulado da casca de pinheiro, através de estudos e ensaios, onde conseguiu determinar uma condutividade térmica do material com um valor de  $\lambda=0.069$  W/m.k. Também em estudo para caracterização da Casca de Pinus, Spinelli et al. (2019) identifica a potencialidade de utilização do material para isolamento térmico, e determina a condutividade térmica de  $\lambda=0.061$  W/m.k. Estes índices de condutividade térmica corroboram com o estudo de Asdrubali et al. (2015), em que indica que para um material ser considerado como isolante térmico, deve possuir a condutividade térmica inferior a  $\lambda < 0,07$  W/m.k.

Considerada como um subproduto pelas indústrias madeireiras, a casca de pinheiro não tem um grande mercado como a madeira em si, assim sendo, ela é frequentemente enterrada ou queimada, classificada como sobra, um resíduo com pouquíssimo valor (RIBEIRO et al., 2001), se tornando assim de grande importância o estudo referente a este material, para assim agregar valor e uma melhor destinação para seu uso final.

## **1.2. Objetivo**

Analisar o desempenho térmico das placas de revestimento executada com argamassa e casca de pinheiro aplicadas em fachadas, e comparar a outro protótipo sem isolamento térmico.

### **1.2.1. Objetivos específicos**

- Desenvolver placas com concreto e casca de pinheiro para revestimento de fachada com finalidade de isolamento térmico;
- Aplicar as placas em um protótipo com intuito de avaliar as mudanças na temperatura do ambiente interior;
- Verificar a resistência térmica e transmitância térmica dos componentes;
- Analisar a carga térmica e consumo de energia; comparar os dados obtidos a outro protótipo com características iguais, porém sem isolamento.

## **2. MÉTODO**

O presente estudo é classificado como uma pesquisa exploratória. De acordo com Gil (2006, p.41), “[...]têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu

planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado”.

## 2.1. Local de Estudo

Os protótipos que foram utilizados para o presente estudo estão localizados em frente ao LATEC, nas proximidades do Prédio 17, da Universidade do Vale do Taquari – Univates da Cidade de Lajeado-RS. (Figura 1). As coordenadas locais são: latitude 29°26'55” S; longitude 51°56'42” W; altitude de 44m.

Figura 1 – Localização dos Protótipos



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor (2019).

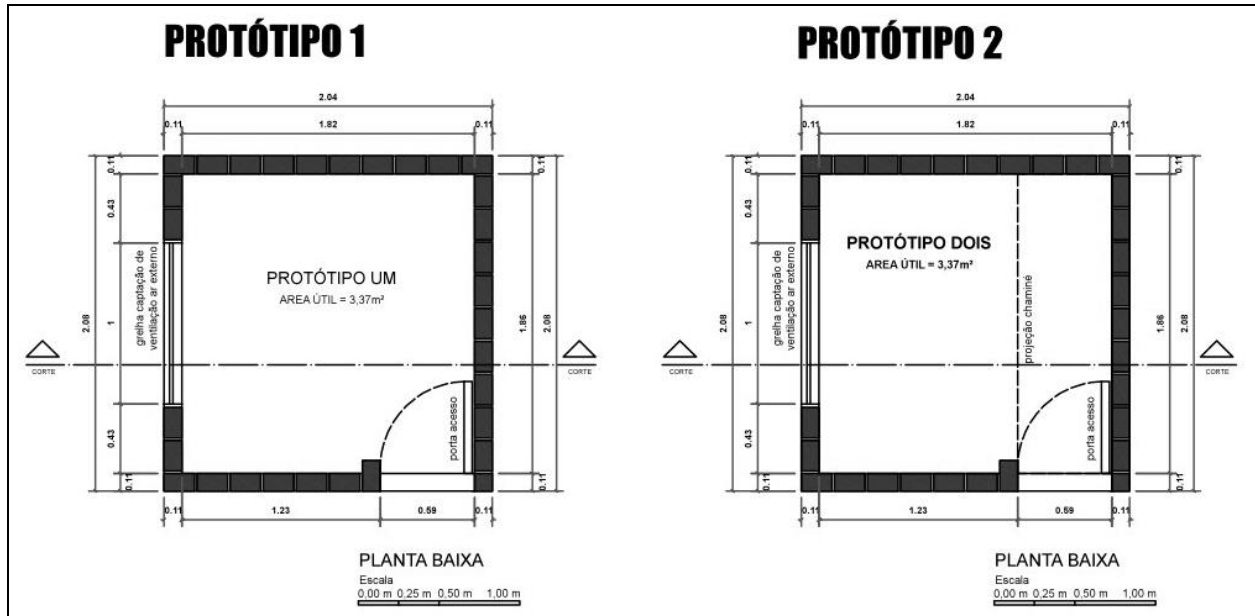
Foram executados com materiais de características similares das edificações construídas na região do Vale do Taquari, sendo as fachadas executadas com alvenaria de tijolos cerâmicos maciços com dimensões de 11 x 5,5 x 19 cm, assentados com argamassa convencional em juntas de 1,5cm de espessura, sem reboco e pintura, e as lajes foram executadas com vigotas e tabelas, com cobertura de telha cerâmica (Figura 2).

Figura 2 – Protótipos.



As entradas de ar dos protótipos assim como a chaminé do protótipo 2, que é usada como um sistema de ventilação (Figura 3), foram fechadas para ter maior similaridade entre os protótipos em estudo.

Figura 3 – Planta baixa dos Protótipos.



### 3.2. Revestimento de Fachadas

As placas executadas têm como função apenas de isolamento térmico, sem fins estruturais e resistindo assim apenas ao seu próprio peso. Para o sistema proposto de fachadas ventiladas, foram executadas 93 placas para fechamento da envoltória do protótipo, sendo, 74 placas com dimensões de 35 x 45 x 4 cm (base x altura x largura), 8 com dimensões de 22 x 45 x 4 cm, 4 com dimensões de 29 x 45 x 4 cm, 4 com dimensões de 17 x 45 x 4 cm e 3 com dimensões de 35 x 25 x 4, sendo executadas no estilo sanduíche, com as faces externas compostas por argamassa em espessura de 1cm cada e preenchida por uma camada de 2 cm de espessura da casca de pinheiro triturada no estado seco.

A casca de pinheiro coletada para o desenvolvimento do estudo são de boa qualidade e já se encontravam no estado seco. Inicialmente foram trituradas com o auxílio de maquinário agrícola, empregado na moagem de pastagens e grãos. Após o processo de trituração, armazenou-se o material dentro de sacos plásticos, numa quantidade capaz de se obter uma espessura de 2 cm, elaborando assim o material que seria adicionado no interior das placas para o revestimento de fachada. Esse processo foi necessário para não ocorrer o contato das cascas com a argamassa evitando assim, que elas absorvessem umidade e gerassem alguma patologia nas placas.

Na moldagem das placas, inicialmente foi realizado o assentamento da primeira camada de argamassa na forma de madeira com o auxílio de uma colher de pedreiro e uma régua gabarito para atingir uma espessura de 1cm em todas as placas confeccionadas. Em seguida, se aplicou a casca de pinheiro ensacada sobre a camada de argamassa já disposta na forma, posicionada manualmente até ficar com uma espessura de 2cm e espaços livres ao redor da mesma, para assim ocorrer a aderência adequada das duas camadas de argamassa. Também foi realizado manualmente a retirada do excesso de ar dentro do saco, para uma melhor compactação da placa e evitando uma interferência nos resultados de cálculos de desempenho térmico. A última etapa da moldagem das placas foi o assentamento da segunda camada de argamassa, na espessura de 1cm, finalizando a execução das placas (figura 4). Após executadas ficaram em processo de cura durante o período de 48 horas, sendo desformadas e em seguida levadas para a câmara úmida, onde ficaram por mais 72 horas até serem afixadas nos protótipos.

Figura 4 – Execução das Placas de Revestimento para Fachadas.



As placas foram fixadas com a utilização de peças metálicas de alumínio para evitar uma possível corrosão, perda de resistência e evitando manchas nas placas, sendo estes ancorados na estrutura do protótipo e engastados nas placas de revestimento. Conforme fosse respeitado o tempo de cura e câmara úmida, as placas eram posicionadas nas fachadas, com um afastamento da alvenaria do protótipo de 2,00 cm.

### 3.3. Coleta de Dados

Para a coleta da temperatura interna, utilizou-se sensores do tipo DHT03, distribuídos um em cada face interna das paredes do protótipo, um na laje e um centralizado no ambiente interno, conectados a um Arduino Mega e os dados coletados armazenados em um cartão de memória SD.

A coleta da temperatura externa, utilizou-se a estação meteorológica modelo Vantage PRO 2, marca DAVIS, localizada nas coordenadas: latitude 29°26'40.40"S; longitude 51°57'27.51"W; altitude de

85,00 m, que foi disponibilizada pelo Núcleo de Informações Hidro meteorológicas (NIH) da Univates, juntamente com dados de radiação solar, velocidade do vento, e outros dados climáticos.

### 3. RESULTADOS

Para análise do desempenho térmico dos protótipos, desenvolveu-se o cálculo de transmitância térmica com base na NBR 15220-2 (ABNT, 2005), tendo seus requisitos mínimos verificados de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013). As propriedades térmicas dos materiais foram apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades térmicas dos materiais.

MATERIAL	CONDUTIVIDADE TÉRMICA “λ” (W/m.K)	DENSIDADE APARENTE (Kg/m <sup>3</sup> )
Argamassa	1,15	1900
Tijolo cerâmico maciço	0,9	1600
Casca de pinheiro	0,069	329,9
Casca de Pinus	0,061	331

Fonte: Adaptado NBR 15220 (ABNT, 2005) e Marcos (2007).

Para determinação da transmitância térmica das paredes dos protótipos, se utilizou com base a NBR 15220 (ABNT, 2005), desenvolvida por planilha eletrônica no *software Microsoft Excel*. As fachadas do protótipo 1 não receberam nenhum isolamento térmico, sendo suas paredes compostas por tijolo cerâmico maciço, com espessura de 11cm e sem reboco. A Transmitância térmica (U) da materialidade do protótipo 1, foi de 3,5256 W/m<sup>2</sup>.K.

Segundo a NBR 15575-4, (ABNT, 2013b. p.26), o valor encontrado de transmitância térmica das paredes do protótipo sem isolamento se encontra acima do recomendado, pois, para a zona bioclimática 2, localização da cidade de Lajeado, valor máximo admissível de transmitância térmica é 2,5 W/m<sup>2</sup>.K.

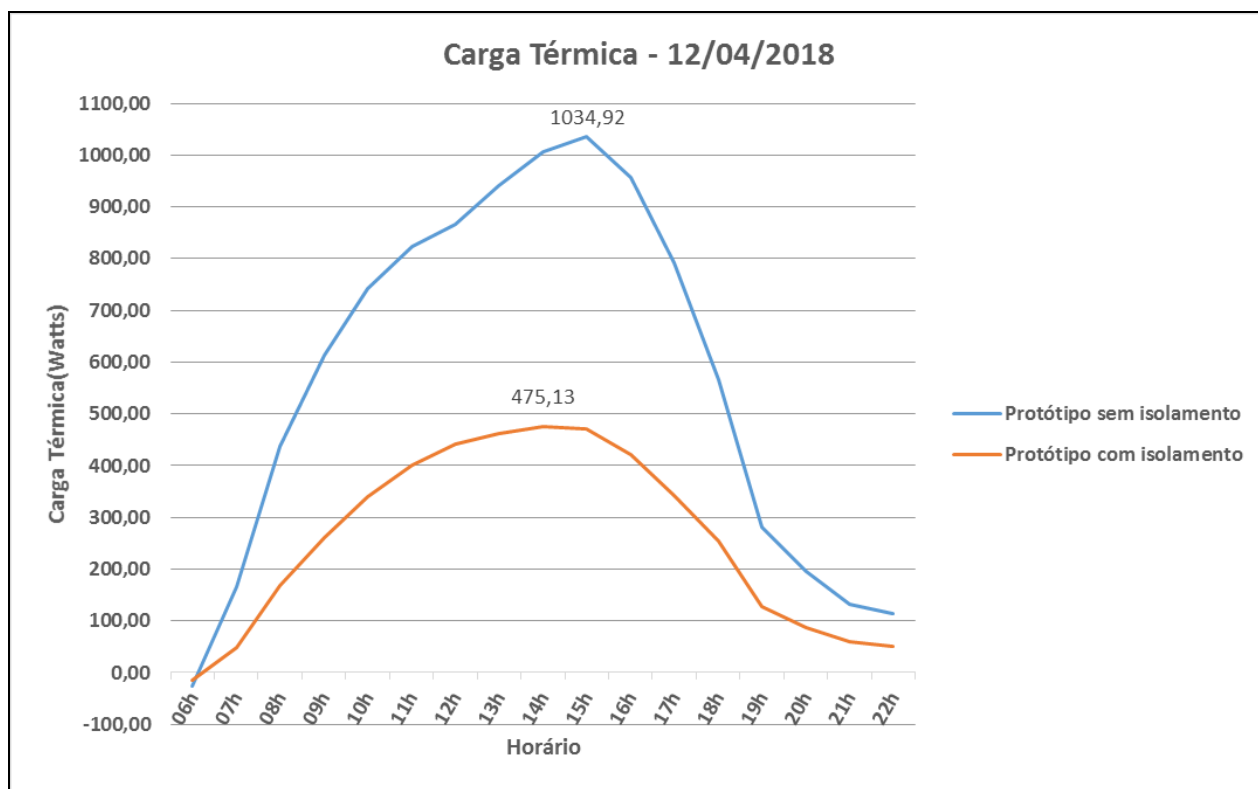
O protótipo 2 se instalou as placas de revestimento de fachada desenvolvidas para isolamento térmico. Os cálculos desenvolvidos para determinação de transmitância térmica das alvenarias do protótipo 2, acrescentou-se a resistência térmica da camada de ar, devido a fachada ser ventilada, e das placas de isolamento. Assim, a transmitância térmica das alvenarias do protótipo com isolamento térmico é de 1,3318 W/m<sup>2</sup>.K. Comparando o valor de transmitância térmica do protótipo

2, com o valor máximo permitido pela NBR 15575 (ABNET, 2013) que é de 2,5 W/m<sup>2</sup>.K, o mesmo está respeitando a exigência normativa para edificações localizadas na zona bioclimática 2.

O desenvolvimento do dimensionamento de carga térmica utilizou-se como base o método apresentado por Lamberts et al. (2014, p. 218). A carga térmica dos protótipos 1 e 2 foram analisadas na data do dia 12 de abril de 2018 das 06h às 22h.

O gráfico 1 apresenta a carga térmica dos protótipos em estudo, tendo parte dessa carga entrando no ambiente pelas fachadas e parte pela cobertura, assim como também pelas aberturas, portas e janelas, que não foram estimadas neste estudo. Essa análise realizada no ambiente foi utilizada para dimensionar a instalação de um ar condicionado no mesmo.

Gráfico 1 - Carga térmica dos protótipos (12/04/2018).



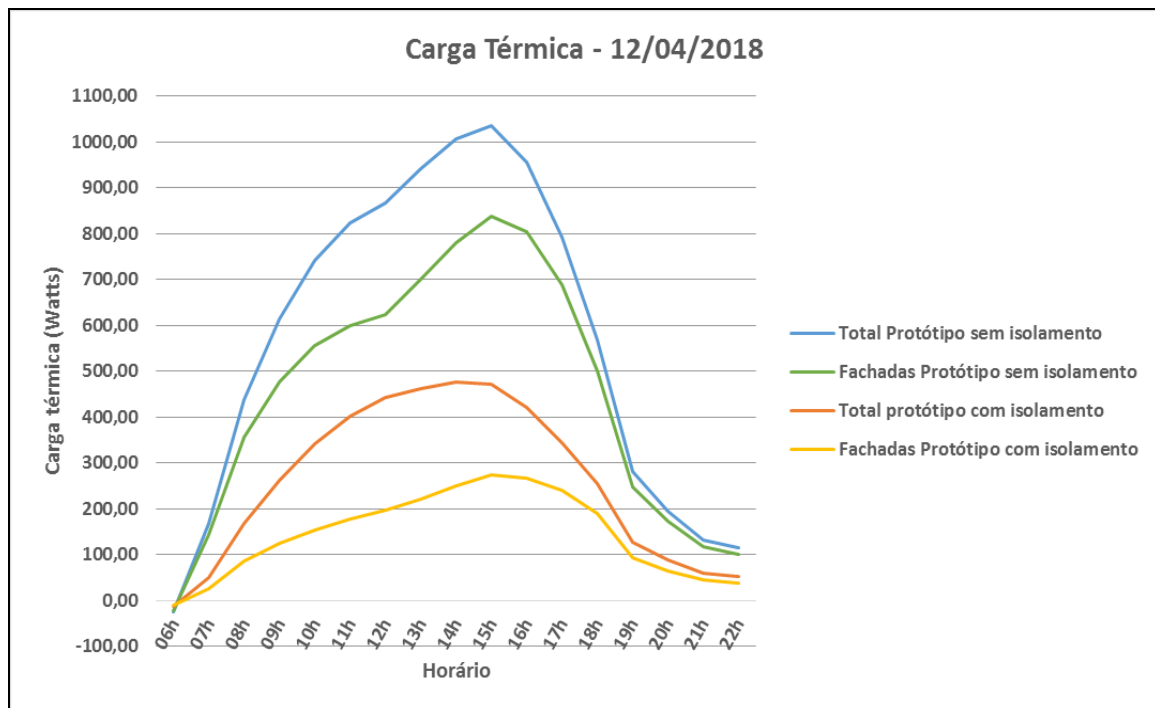
As placas de revestimento desenvolvidas para o estudo e instaladas nas fachadas do protótipo apresentam eficiência de 54% de redução da carga térmica no interior do protótipo 2, se comparada ao protótipo 1 sem isolamento térmico, sendo considerado esse resultado como positivo para o presente estudo.

Os dados representados no gráfico 1 demonstram que o horário de maior carga térmica do protótipo sem isolamento térmico para o dia em estudo ocorreu às 15h, um total de 1034,92 W, e para o



protótipo com isolamento térmico, a maior carga térmica ocorreu as 14h, chegando a um valor de 475,13 W. A temperatura externa registrada no momento de maior carga térmica foi 34,70 °C. Devido ao isolamento em estudo ter sido executado nas fachadas do protótipo, é importante fazer uma análise comparativa entre a carga térmica ocorrida nas fachadas e sua contribuição na carga térmica total dos protótipos (Gráfico 2), para verificar a eficiência do isolamento térmico.

Gráfico 2 - Contribuição das fachadas na carga térmica total dos protótipos (12/04/2018)

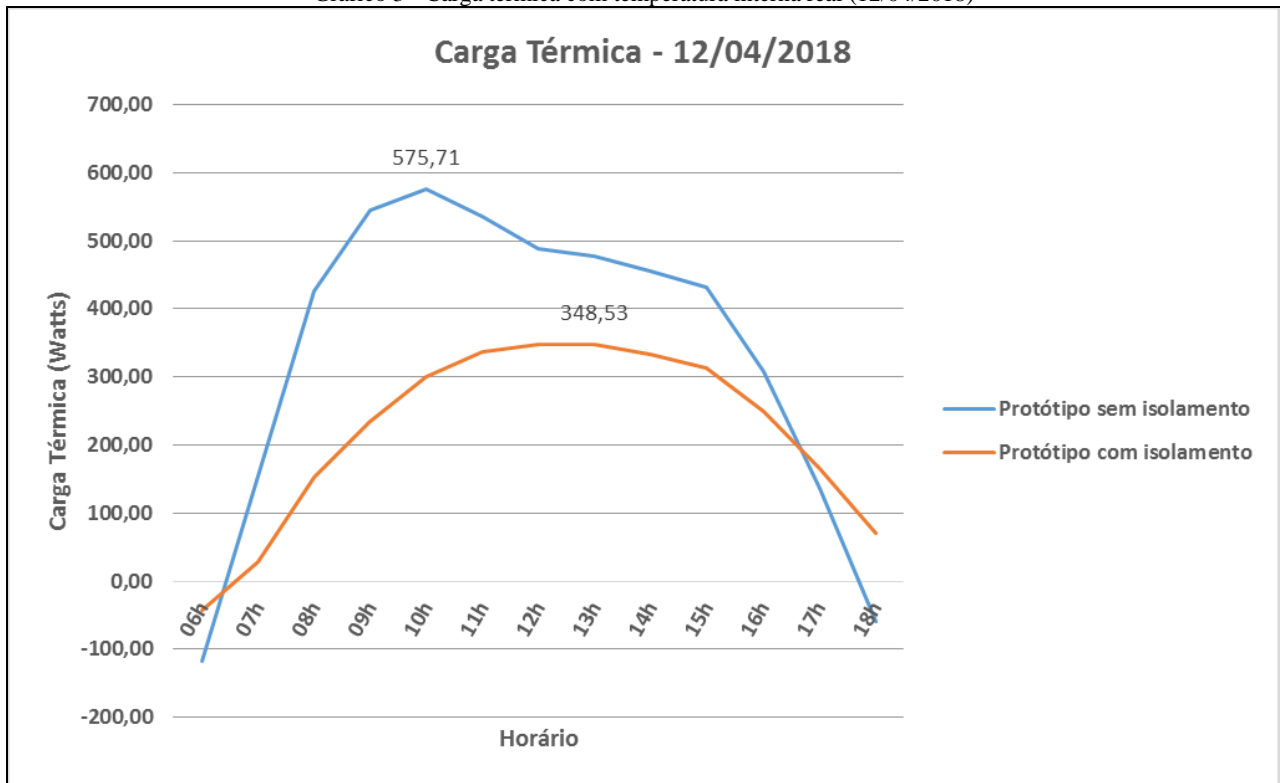


Observa-se através do gráfico 2, a grande contribuição das fachadas do protótipo 1 na carga térmica total, e demonstra que o espaço entre a linha azul e a linha verde equivale a parte da cobertura. A grande diferença entre a contribuição de carga térmica entre a cobertura e as fachadas, ocorreu devido as paredes possuírem uma baixa resistência térmica.

Seguindo na análise do gráfico 2, verifica-se que no protótipo 2 a contribuição das paredes apresentam uma redução considerável, devido ao isolamento térmico das fachadas diminuir a passagem de calor. Ao se comparar os dois protótipos, a contribuição de calor pela cobertura mantém um padrão, atingindo uma contribuição de carga térmica aproximada de 300 W por volta das 15h, pico de calor para o dia.

Com a utilização dos dados de temperatura interna reais de cada protótipo, coletados através de sensores, foi possível verificar a carga térmica real (Gráfico 3), representando uma edificação que não estivesse utilizando algum aparelho de climatização que mantivesse a temperatura interna do ambiente em um valor pré-determinado.

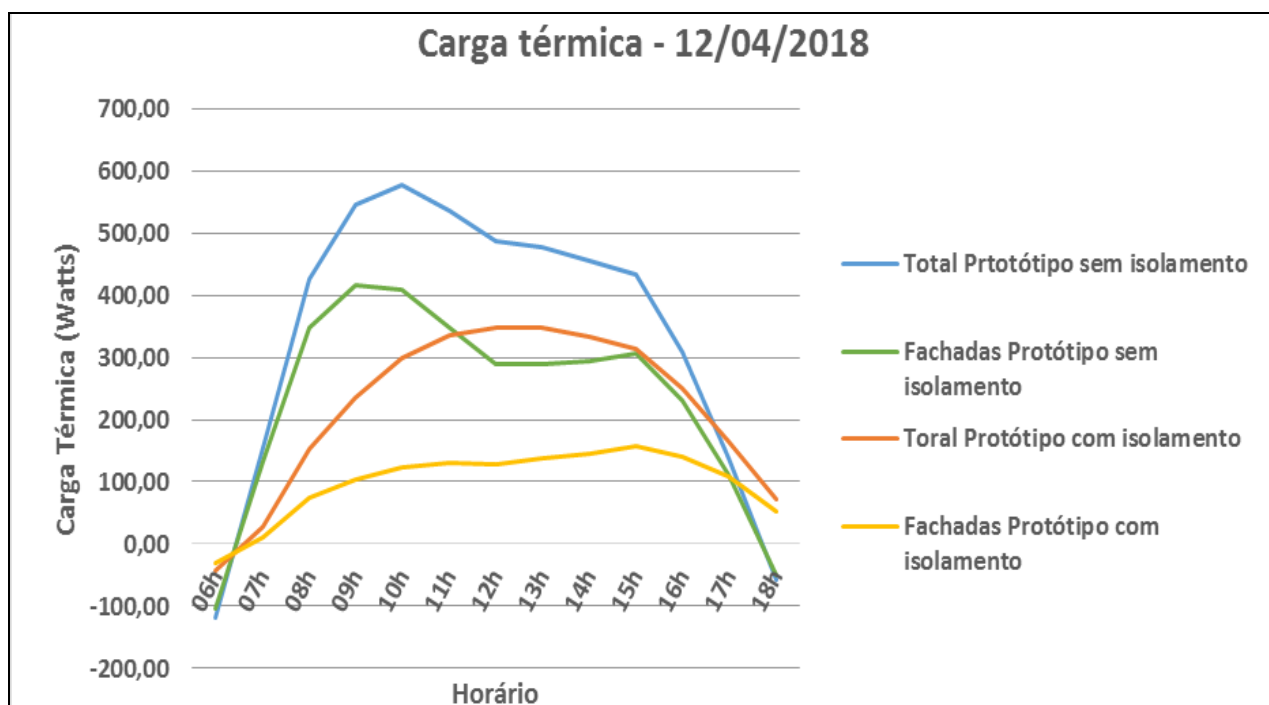
Gráfico 3 - Carga térmica com temperatura interna real (12/04/2018)



Observa-se que o gráfico 3 elaborado com a temperatura interna coletada no dia de análise, apresenta para os protótipos 1 e 2, uma redução do ponto crítico de carga térmica quando comparado com o gráfico 1, realizado com temperatura padrão de conforto térmico. Essa redução ocorre devido a diferença da temperatura externa com a interna dos protótipos, ocorrendo a troca de calor por condução na equação.

Com intuito de analisar a eficiência do isolamento térmico aplicados nas fachadas, elaborou-se o Gráfico 4, analisando os dados de temperatura interna real para a carga térmica total e para a carga térmica das paredes de cada protótipo. Observou-se que o protótipo sem isolamento térmico, a carga térmica das fachadas é maior que a carga térmica da cobertura, diferente do protótipo com isolamento, onde a contribuição da cobertura é maior em boa parte do dia, demonstrando a influência positiva do isolamento térmico em estudo que pode auxiliar na redução da necessidade de utilizar algum equipamento de climatização do ambiente.

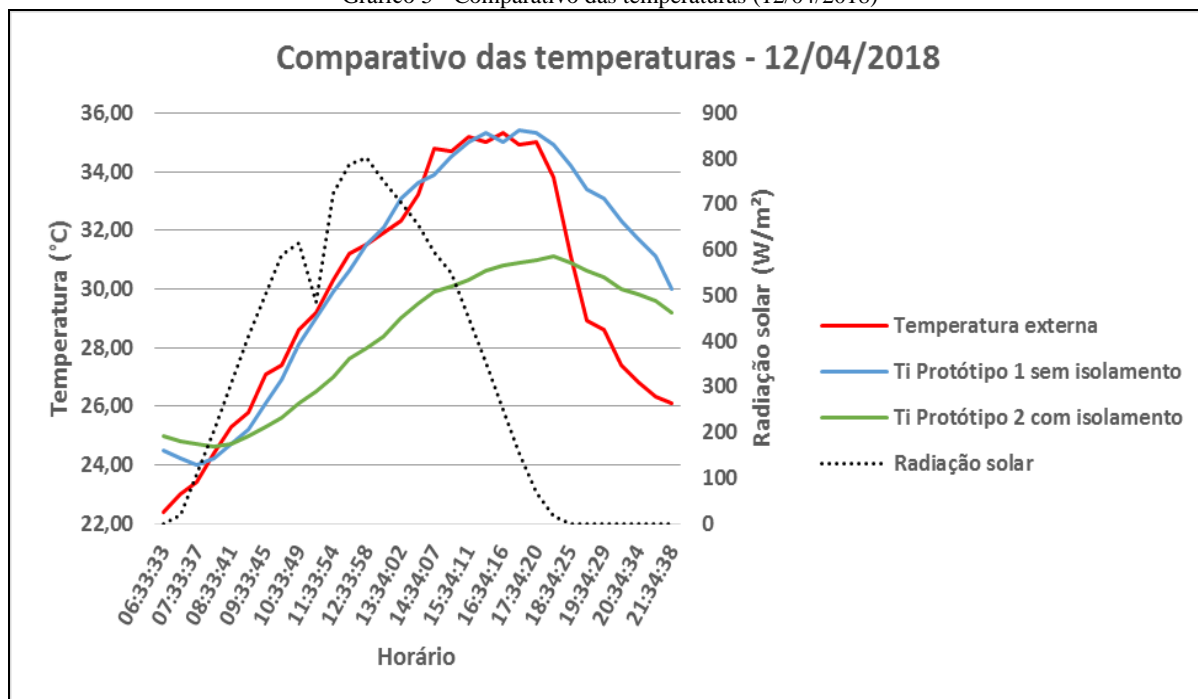
Gráfico 4 - Contribuição das fachadas na carga térmica total utilizando temperatura interna real (12/04/2018)



A maior temperatura externa registrada entre o período de coletas de dados, foi no dia 12/04/2018. Esta data foi utilizada como base para cálculo da carga térmica, demonstrada no Gráfico 5. No dia 12 de abril de 2018, foi registrado a maior temperatura externa registrada foi de 35,30 °C às 16h34min, e a radiação máxima do dia foi 801 W/m², às 12h33min.

Quando a temperatura externa atingiu sua máxima, a temperatura interna do protótipo sem isolamento apontava 35°C, sendo apenas 0,30°C a menos, enquanto a temperatura interna do protótipo com isolamento registrava 30,80°C, sendo 4,50°C a menos. A maior diferença entre a temperatura interna dos dois protótipos em estudo ocorreu às 15h34min, momento em que o protótipo com isolamento, registrava 30,30°C, estando assim 4,70°C abaixo do protótipo sem isolamento.

Gráfico 5 - Comparativo das temperaturas (12/04/2018)



### 3.5 Consumo de energia

A partir da carga térmica crítica, do dia 12/04/2018, foi possível dimensionar a potência para equipamentos de ar condicionado necessário para a retirada do calor do interior de cada protótipo, utilizando o intervalo entre os dois pontos com carga térmica de maior valor, vencendo o momento crítico da data em análise. Dimensionou-se também, através da média diária de carga térmica para os dois protótipos, sendo calculado pela área da curva do gráfico de carga térmica.

Foi possível verificar através das potências calculadas, para fins de conforto térmico, o consumo aproximado de energia elétrica médio e para a hora crítica dos protótipos em estudo. Vale ressaltar que, a área útil do ambiente interno dos protótipos 1 e 2 é de 3,37 m<sup>2</sup>, tornando baixo os custos com climatização. Devido a fatores externos e internos interferindo, o valor exato do consumo diário de energia utilizado para climatização não foi possível ser estimado.

A Tabela 2 apresenta o resumo dos dados de desempenho térmico e resultados dos cálculos de consumo de energia dos dois protótipos em estudo. Facilitando a visualização dos dados, demonstrando a diferença nos resultados os protótipos.

Tabela 2 - Resumo dos dados térmicos

	<b>PROTÓTIPO 1 (SEM ISOLAMENTO)</b>	<b>PROTÓTIPO 2 (COM ISOLAMENTO)</b>	<b>VALOR MÁX. NBR 15575/2013</b>	<b>REDUÇÃO DO P1 PARA P2</b>
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (W/m <sup>2</sup> .K)	3,53	1,33	2,5	62%
CARGA TÉRMICA DO MOMENTO CRÍTICO - 12/04/2018 (W)	1034,92	475,13	X	54%
INFLUÊNCIA MÁX. DA FACHADA NA CARGA TÉRMICA TOTAL - 12/04/2018 (W)	837,51 (fachadas) de 1034,92 (total)	273,39 (fachadas) de 470,79 (total)	X	81% para 58%
CONSUMO DE ENERGIA PARA MOMENTO CRÍTICO (kW.h) E CUSTO - 12/04/2018	0,3397 R\$ 0,27	0,1614 R\$ 0,13	X	52%
CONSUMO DE ENERGIA MÉDIO (kW.h) E CUSTO R\$ - 12/04/2018	0,1819 R\$ 0,15	0,083 R\$ 0,07	X	53%
CUSTO PELO USO DO AR CONDICIONADO EM UM MÊS (10h por dia - 20 dias por mês) - 12/04/2018	R\$ 30,00	R\$ 14,00	X	53%

#### 4. CONCLUSÕES

O sistema de isolamento térmico é uma das alternativas disponibilizadas para atingir o conforto térmico e reduzir o consumo de energia, porém seus materiais são geralmente não renováveis e não recicláveis. Devido a este problema sentiu-se a necessidade de utilização de materiais ecológicos, que sejam renováveis e apresentem dados térmicos para serem utilizados como isolamento térmico de edificações.

A transmitância térmica calculada a partir das propriedades dos materiais dos protótipos analisados, resultou em redução significativa no valor encontrado para o protótipo 2, onde foi aplicado o isolamento térmico em estudo, chegando em 62% de redução quando comparado ao protótipo 1, que não possuía isolamento térmico em sua envoltória, ou seja, a passagem de calor entre o meio externo e interno diminui consideravelmente com a aplicação das placas de isolamento térmico de casca de pinheiro.

Através dos valores de transmitância térmica, foi possível analisar a carga térmica dos protótipos, onde encontrou-se redução do protótipo 2 com isolamento térmico se comparado ao protótipo 1. O ar condicionado necessário para os protótipos, determinado através do consumo médio diário de

energia, com temperatura interna de conforto em 24°C, se obteve uma redução satisfatória de 53% do protótipo com isolamento térmico comparado ao protótipo 1. Quando comparado as temperaturas através de gráficos, pode-se averiguar a eficiência do isolamento térmico em estudo, devido ao registro de temperaturas internas mais amenas e estáveis, trazendo a maior diferença entre temperatura externa e interna de 6,10°C, e de 4,80°C em temperatura interna, quando comparado ao protótipo 1.

Após a análise final dos resultados, o isolamento térmico em estudo apresentou dados térmicos satisfatórios, obtendo redução nas temperaturas e carga térmica, demonstrando consumo energético considerável. O isolamento térmico de casca de pinheiro tem grande potencial para tornar uma edificação sustentável, energeticamente eficiente e que seja capaz de atingir o conforto necessário dos usuários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asdrubali, F., D'alessandro, F. AND Schiavoni, S. (2015) A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, v. 4, p. 1-17.

Carlo, J. (2008) Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais. Thesis (doctorate) – University of Santa Catarina, Florianópolis.

Correia, M. S. G. (2017) Análise de sustentabilidade de materiais e tecnologias construtivas verdes. Dissertation (master's degree) – University of trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

EPE. (2017) Empresa De Pesquisa Energética. *Resenha mensal do mercado de energia elétrica*. Ano X, n. 115.

Ganhão, A. Miguel G. D. (2011) Construção Sustentável-Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação. Dissertation (master's degree) – University Nova de Lisboa, Lisboa.

Gil, A. C. (2006) *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª ed. – 8º reimpressão. São Paulo: Atlas.

Lamberts, R., Dutra, L. and Pereira, F. (2014) *Eficiência Energética na Arquitetura*. Eletrobras Procel 3ª Edição.

Marcos, J. S. L. (2016) *Materiais naturais alternativos de isolamento térmico*. Dissertação (Mestrado) – University of trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Ribeiro, H. M. et al. (2001) Utilização de casca de pinheiro envelhecida na cultura de plantas ornamentais envasadas. *Revista de Ciências Agrárias XXIV (3–4): 176*, v. 183.

Romão, M. R. F. A. (2015) Contribuição do isolamento térmico para o aumento da eficiência energética em edifícios. Dissertation (master's degree) - Institute of Engineering of Lisbon.

Santos, F. A. C. (2010) Avaliação do impacto do isolamento no conforto térmico de um edifício. Dissertation (master's degree). University of Aveiro. 2010.

Silva, F. M. F. (2013) Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores. Dissertation (master's degree). University of Porto, 2013.

Spinelli, R.; Pasquali, P. H. D. A.; Bertotti, A.; Lerin, D.; Pitol, A. F.; Cambeiro, F. P.; Konrad, O. (2019) Development of Methodology for Determining the Physical Properties of Natural and Innovative Materials. No prelo.

Vilhena, J. M. (2007) Diretrizes para a sustentabilidade das edificações. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 2, n. 1, p. 59-78, 2007.

## 8 SÉTIMO ARTIGO

### ***ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE INVOLVEMENT OF AN EDUCATIONAL BUILDING USING THE PRESCRIPTION METHOD (RTQ-C).***

SPINELLI, R.; PITOL, A. F.; PASQUALI, P. H. D.A.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Energy Efficiency Assessment of the Involvement of an Educational Building Using The Prescription Method (RTQ-C). **Environmental Quality Management**. EUA.

Artigo em avaliação na Revista *Environmental Quality Management* – ISSN 1088-1913 – para publicação. O periódico possui estrato superior *Qualis* B1 em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).



# **ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE INVOLVEMENT OF AN EDUCATIONAL BUILDING USING THE PRESCRIPTION METHOD (RTQ-C).**

**Rodrigo Spinelli<sup>1</sup>, Alana Francischett Pitol<sup>2</sup>, Pedro Henrique Dall'Agnol Pasquali<sup>3</sup>, Faustino Patiño Cambeiro<sup>4</sup>, Odorico Konrad<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> PhD student at the Graduate Program in Environment and Development, University of Vale do Taquari, RS.

E-mail: rspinelli@univates.br

<sup>2</sup> Master student, Graduate Program in Environment and Development, University of Vale do Taquari, RS. E-mail: alana.pitol@universo.univates.br

<sup>3</sup> Scientific Initiation Fellow and student in Architecture and Urbanism at the University of Vale do Taquari, RS.

E-mail: pedro.pasquali@univates.br

<sup>4</sup> Doctor, University of Vigo, Espanha.

E-mail: faustinopc@gmail.com

<sup>5</sup> Doctor, Graduate Program in Environment and Development at the University of Vale do Taquari, RS.

Email: okonrad@univates.br

## **SUMMARY**

The energy efficiency analysis of buildings in terms of envelope, conductivity indexes and thermal transmittance directly influence the energy consumption of a building. Based on the RTQ-C prescriptive method, it was possible to evaluate and classify the efficiency levels of an educational building, applying natural and innovative materials for thermal insulation.

## **ABSTRACT**

For a building to be considered sustainable, it is essential that it be energy efficient and assess the impact that its implementation and use will have on the environment. The evaluation of the energy efficiency of the systems that make up a building becomes fundamental. For this, the analysis of the envelope, its materiality, its conductivity indices and thermal transmittance directly influence the energy consumption of a building. Based on the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C), it was possible to evaluate and classify the efficiency levels of an educational building located in the municipality of Lajeado, Rio de Janeiro state. Grande do Sul, Brazil, applying natural and innovative materials for thermal insulation of wraps. The original rating of Level D goes to levels A and B, depending on the amount of insulating material applied. It is noteworthy that for the building to be classified as Level A, it is necessary to reduce the energy consumption of the artificial lighting system by 65%.

Key words: Energy efficiency; Wrapper; Thermal insulation; RTQ-C;

## **1 INTRODUCTION**

For a building to be considered sustainable, it is essential that it be energy efficient. The impact it will have on the environment should always be considered, always aiming at its reduction, aiming at a reduction in water and energy consumption if purchased from conventional constructions (YUDELSON, 2013).

So, energy efficiency,

“Can be understood as obtaining a service with low energy expenditure. Therefore, one building is more energy efficient than another when it provides the same environmental conditions with lower energy consumption.” (LAMBERTS et al., 2004, p. 14)

For these cases, concepts related to the study of the physics and thermal behavior of materials, mainly related to heat transfer, and the potentiality of a given material to conduct heat apply. Understanding the basic concepts of heat transfer in buildings tends to improve the thermal comfort of environments and optimize costs related to electricity consumption. ASDRUBALI et al. (2015a) mentions that “thermal insulation systems and materials aim to reduce heat flow transmission. The thermal insulation performance of single or combined homogeneous materials is generally assessed, respectively, by thermal conductivity and thermal transmittance” (ASDRUBALI et al., 2015, p. 2).

## **1.1 STANDARDIZATION AND CERTIFICATIONS**

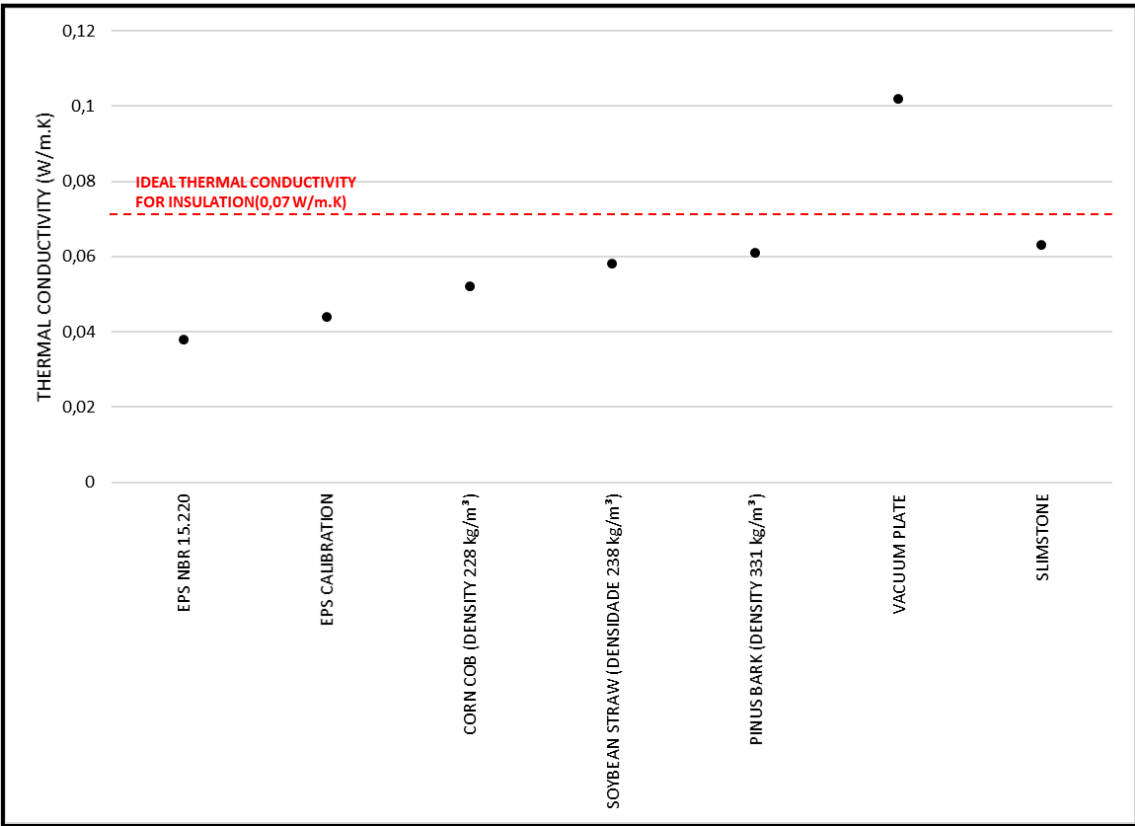
According to NBR 15220 (ABNT, 2005), which presents the method for calculating the Thermal Performance of Buildings. The fundamental index is the thermal conductivity ( $\lambda$ ) of the materials, which, as described in the first part of NBR 15220, is the “physical property of a homogeneous and isotropic material, which has a constant heat flux, with a density of  $1^\circ\text{C} \cdot \text{W} / \text{m}^2$  when subjected to a uniform temperature gradient of 1 Kelvin per meter”, and its unit of measurement is  $\text{W} / (\text{mK})$  (ABNT, 2005, p. 1). A material may be considered as a thermal insulator if its thermal conductivity index is less than  $0,07 \text{ W} / \text{m.K}$ . (ASDRUBALI et al., 2005).

According to NBR 15220 (ABNT, 2005), the thermal conductivity for conventional materials such as Styrofoam (EPS), glass wool and rock wool, with indexes ( $\lambda$ ) of approximately  $0.038 \text{ W} / \text{m.K}$ . Wiebeck et al. (2005) presents data related to synthetic polymers (EPS and XPS), as being materials with good fire resistance, acoustic insulators, and do not propagate fungi. In their composition, polymers (PU) have isocyanates, being volatile substances, pose a risk to the health of the people who inhale them.

Spinelli et al. (2019, forthcoming), presents thermal conductivity results with the use of vegetable raw materials such as corncob, soybean straw and pine bark, together with innovative materials such as vacuum layer and waste insulation board SlimStone Industrial. It is noteworthy that when comparing materials developed with natural

elements, they have thermal conductivity indexes similar to the industrialized and standardized materials, as shown in graph 1 (Spinelli et al., 2019, forthcoming).

Graph 1: Comparative Thermal Conductivity



Source: Spinelli et al., 2019, forthcoming.

The second part of the standard presents the thermal conductivity of several conventional materials (ABNT, 2005, p. 13). In the fourth part, NBR 15220 details the method for determining thermal resistance and thermal conductivity using the protected hot plate principle (ABNT, 2005). By determining the Thermal Conductivity of a material, it becomes possible to calculate the Thermal Resistance (R) of elements and components, the Thermal Transmittance. (U)<sup>1</sup>, Heat Flow Density (q)<sup>2</sup> of an opaque closure, and the Heat Flow (Q)<sup>3</sup>. The determination of these variables directly influence the thermal behavior of buildings, especially with regard to Thermal Capacity<sup>4</sup> and Thermal Delay<sup>5</sup>. Also noteworthy is the Solar Heat Gain Factor for buildings, which can be distinguished as solar gain for opaque elements. (F<sub>so</sub>) and for transparent and

<sup>1</sup> “The inverse of the total thermal resistance of a component” (ABNT, 2005).”

<sup>2</sup> “Quotient of the heat flux that crosses a surface by the surface area” (ABNT, 2005).”

<sup>3</sup> “Quotient of the amount of heat that crosses a surface over a period of time” (ABNT, 2005).”

<sup>4</sup> “Amount of heat required to vary the temperature of a system by one unit” (ABNT, 2005).”

<sup>5</sup> “Time elapsed between a thermal variation in a medium and its manifestation on the opposite surface of a constructive component subjected to a periodic heat transmission regime” (ABNT, 2005).”

translucent elements ( $F_{st}$ ). This Solar Factor is directly related to solar radiation ( $I$ ) that affects building components, especially transparent ones, and how much of this radiation is absorbed, reflected and relayed to indoor environments (ABNT, 2005).

Thus, considering the importance of energy performance for the quality of buildings, NBR 15575 was prepared to meet the requirements of users of housing buildings, a behavior related to the period of their use. It is a set of standards that stipulates performance according to requirements (qualitative), criteria (quantitative or assumptions) and evaluation methods that provide the construction of safer and more efficient buildings. It also highlights the demands of residential building users by presenting an overall list divided into safety, livability and sustainability. This performance standard complements pre-existing standards, not replacing them, where performance and prescriptive standards are to be used together (ABNT, 2013).

Cambeiro et al. (2016) describes that buildings are consequently one of the main sources of pollution worldwide. International certification models that attest to the environmental sustainability of buildings adopt the environmental impact of construction on their life cycle as a key feature. These certificates currently meet local criteria (BREEAM, created in the UK, HQE in France, LIDERA in Portugal) or have universal reach, such as the American certification known as LEED. These certificates take into account the energy performance of the building as a fundamental characteristic, based on the construction process, building materials and their origin (being a long distance transportation concern, and amount of gas emissions generated, among others), as well as as energy uses for the execution and maintenance of the building.

## **1.2 RTQ-C Building Classification**

Aiming at the energy classification of buildings based on the energy efficiency law (n° 10.295 / 2001), the National Institute of Metrology, Quality and Technology (INMETRO) presented revisions in 2010 the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C) (BRASIL, 2013; BRASIL, 2012). RTQ-C has a similar purpose as LEED and is applicable for certification of three types of buildings: I) conditioned buildings; II) partially conditioned; and II) unconditioned; these may be and mixed use, commercial, service and public (Ordinance No. 372, 2010).

Energy level labeling for a building by the RTQ-C system is based on prescriptive method analysis of simulations of a limited number of cases by regression or by the simulation method. Thus, RTQ specifies three levels of efficiency for buildings, ranging from level A (most efficient) to E (least efficient), presented in ENCE (National Energy Conservation Label), and are divided into three individual systems: Envelope, Artificial lighting system and air conditioning system (Ordinance No. 372, 2010).

Based on the information provided in NBR 15220 and NBR 15515, RTQ “creates conditions for energy efficiency level labeling” for buildings, as shown in Figure 1 (BRASIL, 2013).

Figure 1 - RTQ-C National Energy Conservation Label



Source: Brasil (2010).

The evaluation of the individual systems, results in a final classification, which, for this,

“Points are assigned to each individual system and, according to the final score, a rating that also ranges from A (most efficient) to E (least efficient) presented on the ENCE - National Energy Conservation Label” is obtained (BRAZIL, 2013).

The development of RTQ analyzes can be developed using two methods: prescriptive and simulation. The Prescriptive Method is an analytical method based on a limited number of data. The Simulation Method uses a computer program to add the

project variables, and based on the results, to classify the systems that make up the building (BRASIL, 2013).

Bavaresco et al. (2017), developed a metamodel for the thermal load calculation of five different commercial buildings, and the design of the thermal loads for comparison in the EnergyPlus program, comparing the two results in RTQ-C. The data presented by the metamodel presented satisfactory results and can be applied in RTQ-C in order to classify buildings (BAVARESCO et al., 2017).

Quevedo et al. (2017) analyzed by the prescriptive method, according to RTQ-C, a building for public use, located in the city of Florianopolis (Bioclimatic Zone 3). Entering the parameters resulted in an analysis of 12,000 cases, and a result in which 39% of cases achieved an "A" rating level. However, according to the authors;

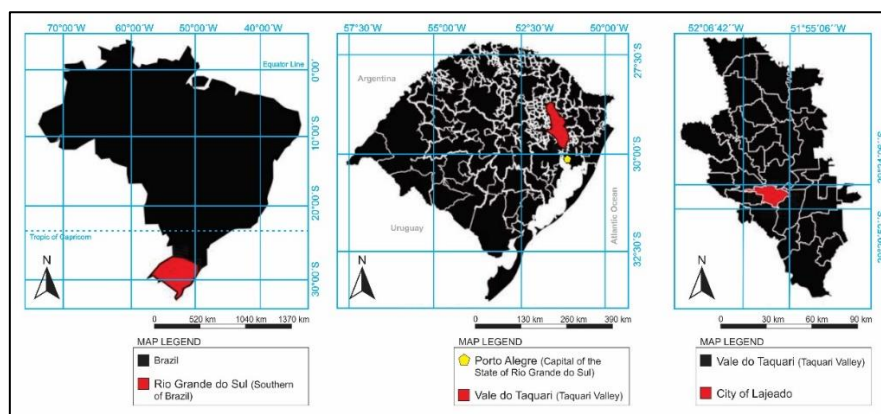
Ease of achieving the highest level of energy efficiency is understood to be an incentive policy for labeling, especially during the implementation of a voluntary labeling program. It is suggested that the RTQ-C scale be adapted to provide a distribution closer to the normal distribution where “C” would represent most of the constructed buildings (QUEVEDO et al., 2017).

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Energy Efficiency Simulation

Based on the study developed by Spinelli et al. (2019, forthcoming), the study proposes to analyze the energy efficiency of educational buildings located in the city of Lajeado / RS (Figure 2).

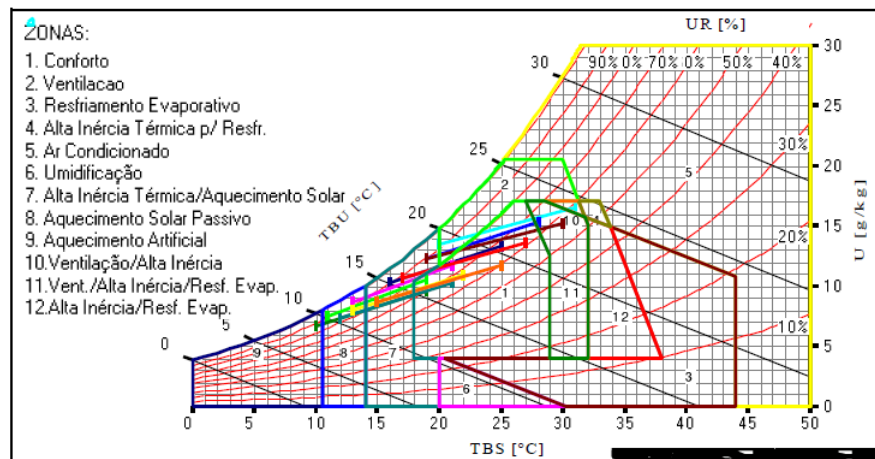
Figure 2 – Localization of the State Rio Grande do Sul in Brazil, of Vale do Taquari in the state Rio Grande do Sul, and the municipal area of Lajeado in Vale of Taquari.



Source: Spinelli et al., 2017.

By analyzing the bioclimatic chart (Figure 3) for the city of Lajeado / RS (Spinelli et al., 2017), it is observed that in 45.26% of the typical days of the year, the built environment is in thermal comfort. , if the building meets NBR 15.575 (2013). For 36.5% of the typical days of the year, the thermal inertia strategy should be used, using thermal insulation to keep indoor environments at a comfortable temperature. By properly using bioclimatic strategies, together with the appropriate materiality for building execution, the possibilities for saving energy are increased, making them more energy efficient.

Figure 3 – Bioclimatic chart of the city of Lajeado-RS



Source: SPINELLI et al. (2017, p. 470).

The building selected for the development of the energy efficiency study is located on the campus of the University of Taquari Valley - Univates (51 ° 95'77'' W / 29 ° 25'37''S). First building built at Univates, it began construction in 1964 and was completed in 1969 (Figure 4). The building has 3,563,55m<sup>2</sup> of built area, distributed in three floors.

Figure 4 – Building selected for the study.



This was selected for the development of the study because it is the oldest building of the institution and its building system is the most conventional, similar to most buildings built locally, with the constructive characteristics: I) masonry executed in solid ceramic block; II) use of simple glass in the frames; and III) covering in fiber cement tiles.

The floors of the building are made up of classrooms, offices, toilets, teachers' rooms, computer labs, circulation, among other spaces (Figure 5). Regarding equipment, all environments have a Split System for artificial climate control, elevator connecting the floors, and artificial lighting system using fluorescent tube lamps.

Figure 4 – Floor Plans of the Building.





## **2.2 Prescription Method Energy Efficiency Simulation (RTQ-C)**

Using the RTQ-C prescriptive method as a basis (BRAZIL, 2013), simulations with data insertion in a spreadsheet were developed, and the results converted to the indices determined by the RTQ-C. The development of the simulations will take place by the following steps:

- Analysis of the building envelope efficiency, calculating the thermal transmittance (U) for envelope, roof and glass, as determined by NBR 15220 (ABNT, 2005);
- Development of calculations for Height Factor (FA), Form Factor (FF), Percentage of Facade Openings (PAF), and Vertical (ASV) and Horizontal (ASH) Shading Angles;
- Calculation of the Consumption Index (CI) of the building, which relates the data presented in the Chart and local Bioclimatic Zone, with the indexes calculated in the previous step;
- Determination of the efficiency level of artificial lighting, calculating the installed power and illuminated area of the building, determination of threshold power and determination of the efficiency level related to the activity developed in the building (according to tabulated indexes in RTQ-C);
- Determining the efficiency level of the air conditioning system, analyzing from the weighting of equipment classification (Efficiency Seal) by their capacity (BRASIL, 2013);
- Bonus calculation for the energy efficiency index, determining the building elevator efficiency index, as specified in the VDI4707 standard (BRAZIL, 2013);

The first stage of the simulation for the building studied, evaluated and analyzed the data for energy efficiency classification according to the original materials in which the building was executed. According to the requirements defined in the regulation, the efficiency level of the envelope, the artificial lighting system and the air conditioning system were calculated.

At the end of the pre-existence analysis, in a second moment new simulations were developed with the application of the characteristics of the materialities developed in the study by Spinelli et al. (2019, forthcoming). Thus, a set of materiality combinations was elaborated for the simulation in the building envelope, using as thermal insulation material air layer, Styrofoam, pine bark, soybean straw, corncob, slimstone and vacuum plate.

Regarding artificial lighting and air conditioning systems, the original characteristics were maintained and considered for analysis of the artificial lighting system: typology of lamps, model, power and quantity of lamps. For the HVAC system, the information for the development of the analysis were: manufacturer, system typology, capacity (BTU's), power and consumption (w / w).

After the simulations were completed by the prescriptive method, the Energy Efficiency Level of the Building was determined, classifying each system with index “A” for more efficient, until “E” for more inefficient, concluding with the determination of a general index for the building ( BRAZIL, 2013).

### **3 RESULTS AND DISCUSSIONS**

#### **3.1. WRAP**

The classification of the building envelope was analyzed and presented by the Thermal Transmittance Index (U) of the masonry and roof, so that each part of the building can be identified in the composition of an appropriate envelope classification to add the final classification. When the original building and its characteristics were analyzed, unsatisfactory results were obtained in relation to the original materials when compared to the classification parameters of the RTQ-C.

Table 2 shows the results of the analyzed building data according to their original envelope composition. The materiality of the masonry is external plaster, solid ceramic block and internal plaster. In the roof the original materiality is concrete slab, air bed and fiber cement tile. It is noteworthy that when analyzing the thermal transmittance (U) of masonry and roofing materiality compositions, and comparing the classification according to RTQ-C, Brazil (2013), both are classified as Level C and D for energy efficiency, in which For these cases the level D will be considered in the final calculation.

Tabela 2: Wrap classification of original building.

ENVELOPE COMPOSITION	THERMAL TRANSMITTANCE COMPOSITION (U)	TYPE	RTQ-C CLASSIFICATION LEVEL
ORIGINAL MASONRY (PLASTER+ MASSIVE CERAMIC BLOCK +PLASTER)	<b>3,34 W/m<sup>2</sup>K</b>	Wall transmittance	Level D $U \leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
ORIGINAL COVERAGE (CONCRETE SLAB + AIR LAYER + FIBER TILE)	<b>1,83 W/m<sup>2</sup>K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level C e D $U \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

To achieve better wrap classification levels in the RTQ-C, adjustments to the existing masonry were proposed. The option of complete replacement of the masonry was discarded due to the high cost, and its structural impossibility, since the building has structural walls without pillar, increasing the cost. Thus, it was decided to add internally in the masonry that have contact with the exterior, the application of a drywall partition, flush with the wall. The simulations continued with the application of insulation between the plasterboard and the existing masonry. The compositions were simulated with the thermal insulation materials researched by Spinelli et al. (2019, forthcoming) such as Styrofoam (EPS), pine bark, soybean straw, corn cob, slimstone and vacuum plate.

As described in Table 3, it is observed that the most outstanding materials were Styrofoam, pine bark, soybean straw and corncob, obtaining A and / or B classification for wall and roof. When comparing the Thermal Transmittance indices, the composition containing Styrofoam had the best performance; however, the Thermal Transmittance results of the compositions with natural elements for thermal insulation, in relation to the RTQ-C index, stand out.

Table 3: Adapted building envelope classification (R1).

ENVELOPMENT COMPOSITION	THERMAL TRANSMITTANCE COMPOSITION(U)	Envelopment Type	LEVEL RATING RTQ-C
Original masonry + 5cm air layer + internal drywall	<b>1,75 W/m<sup>2</sup>K</b>	Wall transmittance	Level B $U \leq 2 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original cover (concrete slab + air layer + fiber cement tile)	<b>1,83 W/m<sup>2</sup>K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level C e D $U \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original masonry + Styrofoam (EPS) + 2cm air layer + internal drywall	<b>0,74 W/m<sup>2</sup>K</b>	Wall transmittance	Level A $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$

Original Cover + Styrofoam (EPS)	<b>0,78 W/m²K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level B $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original masonry + Pinus bark 3cm + Layer Air 2cm + inner drywall	<b>0,95 W/m²K</b>	Wall transmittance	Level A $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original cover + Pinus bark 3cm	<b>1,02 W/m²K</b>	Transmitância da cobertura (climatizado)	Level B $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original masonry + soybean straw 3cm + layer air 2cm + inner Drywall	<b>0,93 W/m²K</b>	Transmitância da parede	Level A $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original cover + soy straw 3cm	<b>1,00 W/m²K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level B $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original masonry + Corn COB 3CM + layer Air 2cm + inner Drywall	<b>0,88 W/m²K</b>	Wall transmittance	Level A $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original cover + cob Corn 3cm	<b>0,94 W/m²K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level B $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original masonry + Slimstone + Air layer + inner Drywall	<b>1,39 W/m²K</b>	Wall transmittance	Level B $U \leq 2 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original coverage + slimstone	<b>1,55 W/m²K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level C $U \leq 2 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original Masonry + Vacuum plate + air Layer + inner Drywall	<b>1,05 W/m²K</b>	Wall transmittance	Level B $U \leq 2 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original cover + Vacuum plate	<b>1,83 W/m²K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level C $U \leq 2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Thus, it was proposed to adapt the masonry compositions with natural elements of thermal insulation, sizing the Thermal Transmittance without the air layer, but with expanding the thermal insulation layer from 3cm to 5 cm. For the insulation of the roof, the revision is proposed by applying a double layer of insulating material, from 3cm to 6cm and 9cm, according to Table 4.

Table 4: Classification of the building envelope with natural materials (R2).

ENVELOPMENT COMPOSITION	THERMAL TRANSMITTANCE COMPOSITION (U)	Envelopment Type	LEVEL RATING RTQ-C
Original masonry + pine bark 5cm + Internal drywall	<b>0,82 W/m²K</b>	Wall transmittance	Level A $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original cover + Pinus bark 10cm	<b>0,47 W/m²K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level A $U \leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original masonry + soybean straw 5cm + Internal drywall	<b>0,79 W/m²K</b>	Wall transmittance	Level A $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original cover + soybean straw 9cm	<b>0,49 W/m²K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level A $U \leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original masonry + Corn cob 5cm + Internal drywall	<b>0,73 W/m²K</b>	Wall transmittance	Level A $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original cover + Corn cob 9cm	<b>0,45 W/m²K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level A $U \leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original masonry + slimstone 3cm + layer air + inner drywall	<b>0,98 W/m²K</b>	Wall transmittance	Level A $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original coverage + slimstone 10cm	<b>0,48 W/m²K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level A $U \leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original masonry + 5cm Vacuum plate + Air layer + inner drywall	<b>0,95 W/m²K</b>	Wall transmittance	Level A $U \leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Original cover + Vacuum plate 16cm	<b>0,49 W/m²K</b>	Coverage transmittance (air-conditioned)	Level A $U \leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$

It is verified in the presented results that the revision of the thickness of the insulating material layer represents in a new classification in the energy efficiency level of RTQ-C, but with very thick layers which can make the production of insulating material unfeasible. We highlight the results for the roof, which receives the most radiation, and the need for larger insulation layers, reaching 10cm thick for recycled material, and 16cm for vacuum plate, which can lead to under load of the building

structure. For these cases, heat reflective material below the tile may be used and the air layer thermal resistance increased from 0.21 m.K / W to 0.61 m.K / W.

### 3.2. ARTIFICIAL LIGHTING

Based on the information in table 4.2 of the RTQ-C manual, which describes the acceptable maximum illumination power density - DPIL limits for the desired efficiency level (Brazil, 2013), the lighting system analysis was developed. of the building, for the main activity of the building. In the survey developed in the environments, the artificial lighting components were verified and follows a standard for all spaces, being 40 W Fluorescent lamps. Thus, to measure the installed Power, the total number of lamps in each environment was quantified. their respective installed power.

Calculating the values of limiting artificial lighting power density (DPI) and their respective areas, we obtained the activity limiting power for each classification level according to the RTQ-C manual (BRAZIL, 2013), observing the classification of each room for Artificial Lighting, as shown in Table 5.

Table 5: Classification of the environments according to their artificial lighting.

		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Auditorium</b>	Total installed (w)	24400			
	Area (m <sup>2</sup> )	1350,66			
	DPI Limit (W/m <sup>2</sup> )	8,5	10,2	11,9	13,6
	Area X DPI Limit (W)	11481	13777	16073	18369
<b>Environment Classification</b>		<b>E</b>			
<b>Office – open Plan</b>	Total installed (w)	21880			
	Area (m <sup>2</sup> )	1256,29			
	DPI Limit (W/m <sup>2</sup> )	10,5	12,6	14,7	16,8
	Area X DPI Limit (W)	13191	15829	18467	21106
<b>Environment Classification</b>		<b>E</b>			
<b>Restroom</b>	Total installed (w)	1440			
	Area (m <sup>2</sup> )	128,24			
	DPI Limit (W/m <sup>2</sup> )	5	6	7	8
	Area X DPI Limit (W)	641	769	898	1026
<b>Environment Classification</b>		<b>E</b>			
<b>Restroom</b>	Total installed (W)	1440			
	Area (m <sup>2</sup> )	128,24			
	DPI Limit (W/m <sup>2</sup> )	5	6	7	8
	Area X DPI Limit (W)	641	769	898	1026
<b>Environment Classification</b>		<b>E</b>			
<b>Restroom</b>	Total installed (W)	1440			

	Area (m <sup>2</sup> )	128,24			
	DPI Limit (W/m <sup>2</sup> )	5	6	7	8
	Area X DPI Limit (W)	641	769	898	1026
	<b>Environment Classification</b>	<b>E</b>			
<b>Restroom</b>	Total installed (W)	1440			
	Area (m <sup>2</sup> )	128,24			
	DPI Limit (W/m <sup>2</sup> )	5	6	7	8
	Area X DPI Limit (W)	641	769	898	1026
<b>Stairs</b>	<b>Environment Classification</b>	<b>E</b>			
	Total installed (W)	320			
	Area (m <sup>2</sup> )	80,46			
	DPI Limit (W/m <sup>2</sup> )	7,4	8,88	10,36	11,84
	Area X DPI Limit (W)	595,404	714,4848	833,5656	952,6464
	<b>Environment Classification</b>	<b>A</b>			

Having developed the individual classification of each environment, it is verified that only the ladder has classification level A, not because of the type of lamp used, but because of the poor lighting installed. The other environments had a high installed load, and all were classified as E. This information was compiled in a table to classify the lighting system of the building according to the manual RTQ-C. Taking into consideration the purpose of the environment to be classified, the comparative data took as reference the school / university data. When calculated, the values obtained a general classification for artificial lighting systems E (Table 6), exceeding the lower limits for classification D.

Table 6: Final classification of the building for the artificial lighting system.

		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>School/ University</b>	Total installed (W)	50680			
	Area (m <sup>2</sup> )	3449			
	DPI Limit (W/m <sup>2</sup> )	8,5	10,2	11,9	13,6
	Area X DPI Limit (W)	29318	35182	41046	46909
<b>Classification</b>		<b>E</b>			

After the analysis of the original artificial lighting system, it was found that it is necessary to update the models of lamps used in the building, and reduce the installed power from 50,680 W to 22,806 W, thus providing a 65% saving in energy consumption, and achieving level A rating.

### 3.3. ARTIFICIAL CLIMATIZATION

The determination of the efficiency level of the artificial HVAC system should be considered the classification and rating of the equipment energy efficiency label performed by INMETRO, together with data and energy specifications of each of the models present in the building. For the building, there are a total of 48 equipment, distributed in five different models, described in Table 7, along with the weighting coefficient of each air conditioning system.

Table 7: Air Conditioning Equipment Information.

Floor	Level	EqNum	Number of equipments	Unit power (Btu / h)	Total power	Weighting	Weighting EqNum
1	B	4	13	42000	546000	0,25490196	1,019607843
2	B	4	7	60000	420000	0,19607843	0,784313725
2	B	4	9	36000	324000	0,1512605	0,605042017
3	B	4	7	60000	420000	0,19607843	0,784313725
3	B	4	12	36000	432000	0,20168067	0,806722689
<b>Total</b>			<b>48</b>	<b>234000</b>	<b>2142000</b>	<b>1</b>	<b>4</b>

When calculating the weighting, the numerical equivalent 4 was obtained, where this result was analyzed and classified according to RTQ-C. Therefore, the system obtained level B for the Artificial Climatization System. The standard of installed equipment was maintained, according to INMETRO's certification seal indicating B for all equipment.

### 3.4. FINAL EFFICIENCY LEVEL

At the conclusion of the analysis and individual classification of the systems, the final efficiency level for the building (Table 8), maintaining the original materiality, the classification level according to RTQ-C was D, maintaining the original levels of classification of lighting and air conditioning systems, respectively E and B. When proposing the materiality changes in the envelope (R1), the simulated classification for the building was C, even though there was a significant improvement in the envelope classification for each of the simulations.



Table 8 - Final efficiency rating of Building 1.

Materials	Envelopement level R1	Final energy efficiency level R1	Envelopement level R2	Final energy efficiency level R2
CONVENTIONAL MATERIAL	D	D	D	D
MATERIAL CONV. + AIR LAYER + INTERNAL DRYWALL	B* D**	C	B* D**	C
MATERIAL CONV. + STYROFOAM + AIR LAYER + INTERNAL DRYWALL	A* B**	C	A* A**	C
MATERIAL CONV. + PINUS BARK + AIR LAYER + INTERNAL DRYWALL	A* B**	C	A* A**	C
MATERIAL CONV. + SOYBEAN STRAW + AIR LAYER + INTERNAL DRYWALL	A* B**	C	A* A**	C
MATERIAL CONV. + CORN COB + AIR LAYER + INTERNAL DRYWALL	A* B**	C	A* A**	C
MATERIAL CONV. + SLIMSTONE + AIR LAYER + INTERNAL DRYWALL	B* C**	C	A* A**	C
MATERIAL CONV. + VACUUM PLATE + AIR LAYER + INTERNAL DRYWALL	B* C**	C	A* A**	C

OBS.: \* Level of envelopement efficiency: walls; \*\* Level of envelopement efficiency: coverage.

When developing revised simulations (R2) for insulation materials, the final classification of the building was maintained at C. It is noteworthy here that the original classification level of the artificial lighting system (E) has a large participation in the final classification. of the building. By modifying the lighting classification level to level A, the final classification of the building would obtain Seal A for the simulations performed (R1 and R2).

## 4 CONCLUSIONS

The evaluation of energy efficiency and the application of constructive elements that make it possible for a new or refurbished building to become sustainable has been one of the fundamental alternatives in the construction sector. The development of new construction materials, in which production processes provide low energy consumption and reduction of polluting elements, has been increasingly viable (SPINELLI et al., 2019, forthcoming).

The application of innovative materiality in the building envelope proposed in this research, simulating from the use of the RTQ-C prescriptive method for efficiency classification, highlights new possibilities for reduction in energy consumption. Analyzing the building in its original composition, the classification according to RTQ-

C presents level D for the envelope, E for artificial lighting system and B for climate system.

The natural materials (tree bark, soybean straw and corn cob) were efficient when applied to the walls (Level A) and roof (Level B), for use as thermal insulation material. The innovative materials (slimstone and vacuum plate) were less efficient compared to natural materials, but with significant advance compared to the original materiality of the building, respectively Level B and C. However, maintaining the original efficiency levels of the artificial lighting and air conditioning system, the overall level of the building remained at C.

Even with a review of the thickness of the thermal insulation layers, the overall level of the building classification remained at C, highlighting that the lighting and artificial air conditioning systems have a high percentage of influence on the final classification of the building, so that this level A, the building's lighting system needs to be modernized, reducing current consumption by 65%. Thus, it is emphasized that the insulation treatment should be considered in conjunction with all other systems, starting at the design stage. It is also proposed that the energy efficiency evaluations be developed using a computer simulation program to compare results between studies.

## REFERENCES

ASDRUBALI, Francesco; D'ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI, Samuel. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**. V.4, July, p. 1–17. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

BAVARESCO, Mateus V.; MAZZAFERRO, L.; MELO Ana p.; LAMBERTS, Roberto. Análise da Precisão de um Metamodelo para a Avaliação da Envoltória de Acordo com o Regulamento Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Em: **XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Balneário Camboriú, 27 to 29 September 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2013.

CAMBEIRO, Faustino P.; ARMESTO, Julia; BARBEITO, Faustino P.; BASTOS, Guillermo. Perspectives on Near ZEB Renovation Projects for Residential Buildings: The Spanish Case. **Energies**. V. 9, n. 8, p. 2-16. Aug. 2016. Available at: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/9/8/628/htm>>. Access in: 10 oct. 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: Prolivros, 2004.

MCNAUGHT, Alan D. **Compendio de Terminologia Química**. Espanha: Síntesis, 2005.

QUEVEDO, Tiago C.; BAUMANN, V. A. R.; VERSAGE R. S. Análise Paramétrica do Nível de Eficiência Energética da Envoltória de uma Edificação Pública pelo Método Prescritivo do RTQ-C. Em: **XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Balneário Camboriú, Brasil, 27 to 29 September 2017.

SPINELLI, R.; KONRAD, Odorico; CAMBEIRO, F. Patiño; AHLERT, Edson; SPINELLI, Fabiana Braun; QUADROS, Eric Augusto. Bioclimatic Strategies for The City of Lajeado/Rs-Brazil, Using Data Analysis of Regional Climate. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba, v. 21, n. 2, p. 153-171. jul./dec. 2017.

SPINELLI, R.; PASQUALI, P.H.D; BERTOTTI, Angélica; LERIN, Dantara; PITOL, Alana F.; CAMBEIRO, F. Patiño; KONRAD, Odorico. **Development of Methodology for Determining the Physical Properties of Natural and Innovative Materials**. Lajeado. 2019. Forthcoming.

YUDELSON, Jerry. Tradução: Alexandre Salvaterra. **Projeto integrado e construções sustentáveis**. Porto Alegre, Bookman, 2013.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Artliber Editora, 2005.

## 9 DISCUSSÃO GERAL

### 9.1 Discussão dos Artigos Desenvolvidos

Ao se desenvolver a tese no formato de artigos sequenciais, torna-se importante desenvolver a discussão geral apresentando a lógica dos estudos desenvolvidos e anteriormente apresentados, relacionando os artigos aos objetivos específicos.

Intitulado “*Bioclimatic Strategies for the City of Lajeado/RS-Brazil, Using Data Analysis of Regional Climate*” (SPINELLI et al., 2017), o primeiro artigo oportunizou o desenvolvimento do estudo da bioclimatologia e o desenvolvimento da carta bioclimática, com base em dados climáticos locais, para a cidade de Lajeado/RS. Ao se desenvolver a análise dos dados, constata-se a inadequação das estratégias construtivas locais ao se comparar com as estratégias apresentadas na carta bioclimática, tendo como principais apontamentos i) a utilização da estratégia de alta inércia térmica; e ii) não haver a necessidade de utilização da estratégia de climatização artificial.

A definição de materialidade construtiva das envoltórias nem sempre seguem as melhores orientações técnicas, mas sim as de praticidade executiva e econômicas, para que se torne viável a execução. Desta forma, as edificações tendem a não se adequarem as características climáticas locais, e não se adequando a normas construtivas, como a NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013). A estratégia construtiva de inércia térmica prima pela qualidade da materialidade, diretamente relacionada ao isolamento térmico.

Pode-se tomar como exemplo a execução de edificações unifamiliares, em que

as envoltórias recebem radiação solar direta durante todo o período do dia, causando um acúmulo de calor intenso. Para estes casos, geralmente, a edificação é executada com parede de estrutura portante, com a utilização de bloco cerâmico maciço, em que ao se dimensionar a Transmitância térmica ( $U$ ) deste conjunto, se tem o índice aproximado de  $3,00 \text{ W/m}^2\text{k}$ . Ao se avaliar pelos parâmetros indicados na NBR 15575 (2013), a cidade de Lajeado/RS está localizada na Zona Bioclimática 2, em que a Transmitância térmica recomendada para a envoltória deve ser inferior a  $2,5 \text{ W/m}^2\text{k}$ , corroborando com a indicação de utilização de isolamento térmico.

Devido a utilização da materialidade inadequada, a utilização de sistemas de climatização se torna volumosa, fato que poderia ser minimizado ao se executar conforme os parâmetros definidos por norma, acarretando também em considerável redução no consumo energético da edificação. A partir desta análise desenvolvida pelo autor, o segundo artigo “Estudo de Materiais Naturais para Aplicação em Isolamento Térmico de Edificações” (SPINELLI et al., 2018a), busca através de pesquisa bibliométrica identificar materialidades para utilização como elementos de isolamento térmico.

Destaca-se dados relacionados ao consumo energético de edificações no Brasil e como o isolamento térmico de edificações, pois

segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), os setores Residencial (29%), Comercial (19%) e industrial (36%), são responsáveis por 84% do consumo energético atual, considerado elevado (PROCEL INFO, 2017). Em relatório elaborado pela EPE (2016), em que apresenta “O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia”, identifica que para o consumo energético há três desafios importantes a serem atendidos: 1) eficiência energética para redução do consumo energético de edificações e emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE); 2) ampliação da autoprodução energética, para que atenda o crescente consumo e da geração distribuída; e 3) atender um crescimento de consumo energético anual de 3%, no período de 2014 a 2030 (desconsiderando a autoprodução e incluindo os ganhos relacionados a eficiência energética) (EPE, 2016) (SPINELLI et al., 2018a).

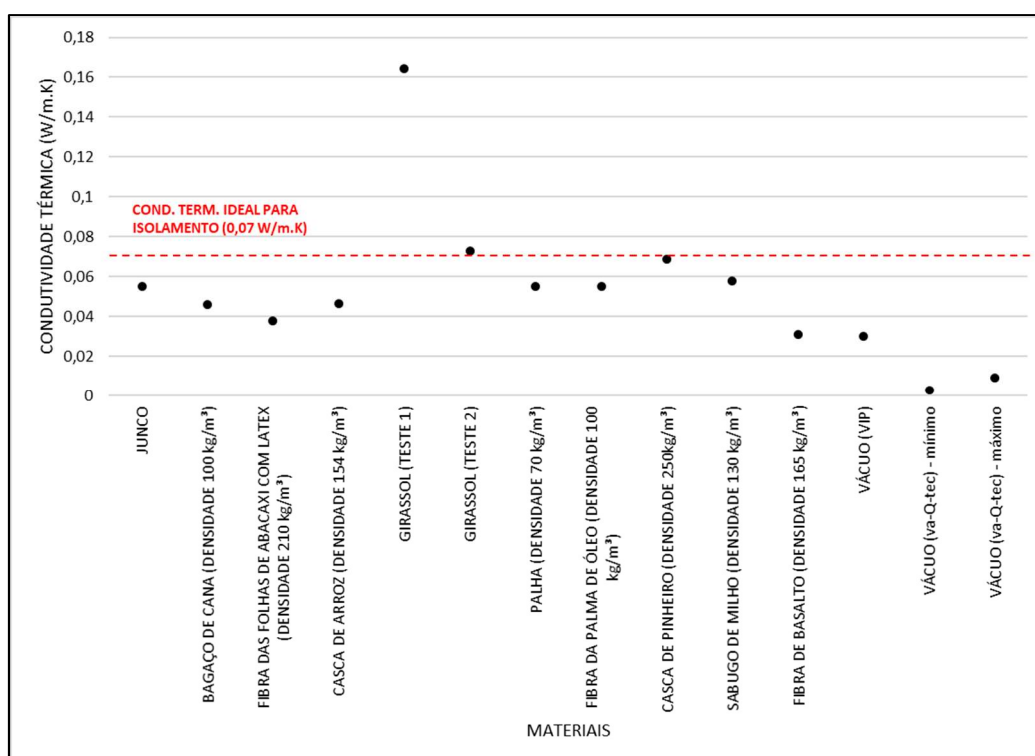
Para se trabalhar com um sistema de isolamento térmico e caracterizar matérias que possam ser utilizados para este fim, o coeficiente de condutividade

térmica deve ser igual ou inferior a 0,07 W/m.K, segundo Wiebeck et al. (2005) e Asdrubali et al. (2005a). Para isso, muitos elementos industrializados são produzidos para serem aplicados em edificações, com base em polímeros sintéticos, consomem grande quantidade de energia e gerando uma quantidade considerável de poluição para serem produzidos. Marques et al. (2009) destaca também que os polímeros

são responsáveis por grandes problemas com o meio ambiente. Muitos polímeros não são recicláveis e os sintéticos derivados de petróleo não sofrem biodegradação, e ainda os que são recicláveis muitas vezes não são reciclados. (MARQUES et al., 2009).

A busca por alternativas inovadoras, pesquisando a viabilidade de utilização de materiais naturais remete a estratégias construtivas vernaculares, que antecedem o período da industrialização em massa de elementos sintéticos. Elementos naturais como palha, junco, casca de árvores, sabugo de milho entre tantos outros, surgem como alternativa viável e de baixo impacto ambiental. Assim, o autor sintetiza os dados de condutividade térmica ( $\lambda$ ) pesquisados com diversos elementos vegetais e inovadores, possibilitando sua aplicação como material de isolamento térmico (FIGURA 4).

Figura 4 - Comparativo dos Índices de Condutividade Térmica ( $\lambda$ ).



Fonte: Spinelli et al. (2018a).

Na sequência do desenvolvimento da tese, o terceiro artigo “*Development of Methodology for Determining the Physical Properties of Natural and Innovative Materials*” (SPINELLI et al., 2019a, no prelo) apresenta o desenvolvimento de materiais naturais (Sabugo de Milho/Casca de Pinus/Palha de Soja) e inovadores (Placa de Vácuo/*Slimstone*) para aplicação em isolamento térmico de edificações, bem como o desenvolvimento de metodologia para determinação da condutividade térmica ( $\lambda$ ), alternativa ao método apresentado na NBR 15220 (2005), o mecanismo da Placa Quente Protegida.

O desenvolvimento do aparato para determinação do índice de condutividade térmica ( $\lambda$ ) se fez necessário para que se atestasse a capacidade de isolamento térmico dos materiais, utilizando como base uma chapa aquecedora utilizada no experimento é fabricada pela Marconi, modelo MA – 38. Para o registro da diferença de temperatura se utilizou sensores do tipo PT-100, um datalogger modelo FieldLogger 128k e um conversor USB-i485, ambos da marca Novus. Finalizada a montagem do aparato, se utilizou para calibragem chapas de isopor (EPS), em que a condutividade térmica ( $\lambda$ ) descrita na NBR 15220 (ABNT, 2005) é de 0,04 W/m.K. Mantendo-se a temperatura constante do aparato em 60°C, determina-se a condutividade térmica ( $\lambda$ ) de 0,044 W/m.k, apenas 10% superior ao índice da norma, corroborando com o estudo desenvolvido por Marcos (2015).

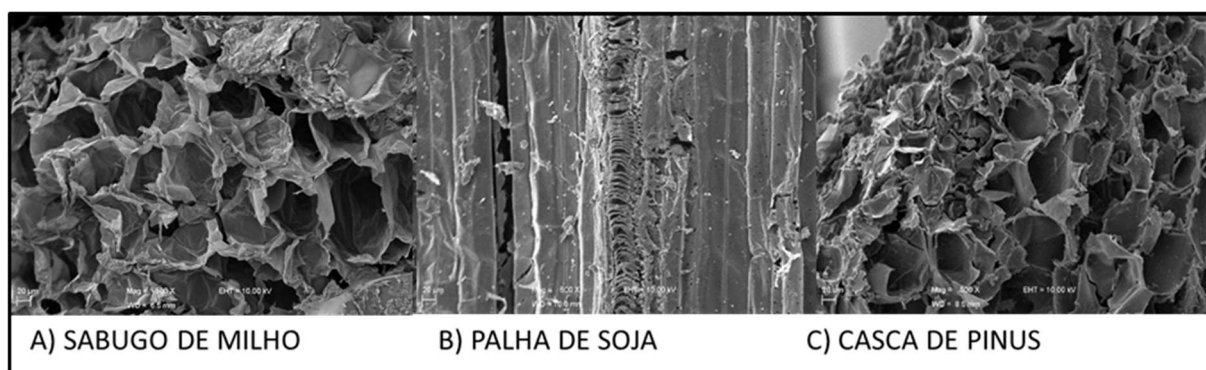
O desenvolvimento das amostras das placas de isolamento e execução dos ensaios se deram com recolhimento de material de resíduo de plantação agrícola (Sabugo de Milho/Palha de Soja) e reflorestamento (Casca de Pinus). Os materiais foram selecionados, retiradas impurezas e trituradas as partes maiores. Para o material se manter agregado, foi utilizado Silicato de Sódio na mistura (Figura 5). Para a análise de densidade dos materiais se determinou a densidade real e a densidade aparente, juntamente com análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), verificando-se a grande quantidade de ar incorporado as amostras dos elementos naturais (Figura 6), corroborando com os resultados dos ensaios de densidade. Assim, as placas desenvolvidas com a utilização de material natural apresentaram resistência mecânica adequada, possibilitando a aplicação em protótipos.

Figura 5 – Placas Modeladas.



Fonte: Spinelli et al. (2019a, no prelo).

Figura 6 – Amostras analisadas no MEV.



Fonte: Adaptado de Spinelli et al. (2019a, no prelo).

Os dados coletados de condutividade térmica ( $\lambda$ ) dos materiais naturais, ao serem comparados com os dados pesquisados e apresentados pelo autor em Spinelli et al. (2018a), mantendo-se no limite de  $\lambda < 0,07 \text{ W/m.k}$  (ASDRUBALI et al. 2015a). A utilização do silicato de sódio como aglomerante apresentou resultado positivo para o experimento, auxiliando na manutenção da baixa densidade das placas, e espaço de ar que auxiliam no isolamento térmico (Tabela 1).

Os materiais compostos inovadores apresentaram resultados satisfatórios ao serem analisados no aparato proposto. A placa de vácuo (argamassa + acrílico) teve como resultado um índice de condutividade térmica superior ao ideal para matérias de isolamento térmico ( $\lambda=0,102 \text{ W/m.k}$ ), porém, muito inferior ao índice de argamassa ( $\lambda=1,15 \text{ W/m.k}$ ) segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005), auxiliando para uma melhor



eficiência energética de edificações. Comparando os resultados com os estudos *Vacuum Insulation Panel – VIP*, Boafó et al. (2014) destaca o índice de condutividade térmica ( $\lambda$ ) de 0,030 W/m.K e o estudo de Mujeebu et al. (2016) o índice de 0,003 W/m.K, inferiores aos analisados nesta tese, porém, como propostas diferentes de aplicação, em que devem ser aplicados no interior das envoltórias, enquanto a proposta do autor a aplicação deve ser executada na face externa ou interna da envoltória.

As placas desenvolvidas com base no *Slimstone*, executadas de forma similar a placa de vácuo, destacam-se os índices de condutividade térmica obtidos nos ensaios executados no aparato. A camada de ar contida no elemento plástico do *Slimstone* auxiliou para o bom desempenho como elemento a ser aplicado em isolamento térmico. A possibilidade de aplicação do material, sendo este reciclado, auxilia na redução de resíduo que não possui uma classificação adequada e assim indica um caminho para destinação de reutilização.

Tabela 1 – Índices de Condutividade Térmica e Densidade.

<b>MATERIAL</b>	<b>CONDUTIVIDADE TÉRMICA (<math>\lambda</math>) W/m.K</b>	<b>DENSIDADE kg/m<sup>3</sup></b>
SABUGO DE MILHO	0,052	228
PALHA DE SOJA	0,058	238
CASCA DE PINUS	0,061	331
PLACA DE VÁCUO	0,102	-
SLIMSTONE	0,063	-

Fonte: Adaptado de Spinelli et al. (2019a, no prelo).

Aspecto negativo para as placas de vácuo e *slimstone* no desenvolvimento do estudo, foi o peso próprio do material ao finalizado, ultrapassando os 2,5kg para cada uma das peças produzidas, sendo necessária a execução de estrutura auxiliar para aplicação do material na envoltória de edificações.

## 9.2 Análise de Comparativa de Resultados Obtidos em Protótipos

Para o prosseguimento da tese, no quarto artigo “Isolamento térmico de fachadas: redução do consumo energético de edificações para Zona Bioclimática 2”

(SPINELLI et al., 2018a) as avaliações desenvolvidas com base na aplicação do sistema de fachada ETICS (External Thermal Insulation Composite System) apresenta resultados de redução no consumo energético, quando simulada a utilização de sistema de condicionamento artificial, em que para este caso utilizou-se o sistema ETICS aplicando em protótipo uma camada de 5cm de EPS na sua face externa e transmitância térmica (U) de 0,67 W/m<sup>2</sup>.K.

Dados coletados no estudo apontam para a redução da temperatura interna do protótipo com o sistema aplicado de até 9,1°C em relação a temperatura externa, e uma diminuição de até 4,1°C se comparado ao protótipo sem isolamento, no período do dia em que se atingiu a temperatura máxima. A utilização do isolamento térmico possibilitou uma redução no consumo energético da edificação de até 65% se simulado no momento de temperatura crítica, atingindo uma redução de 70% consumo ao simular a utilização de equipamento de condicionamento artificial durante o período de 30 dias (SPINELLI et al., 2018a).

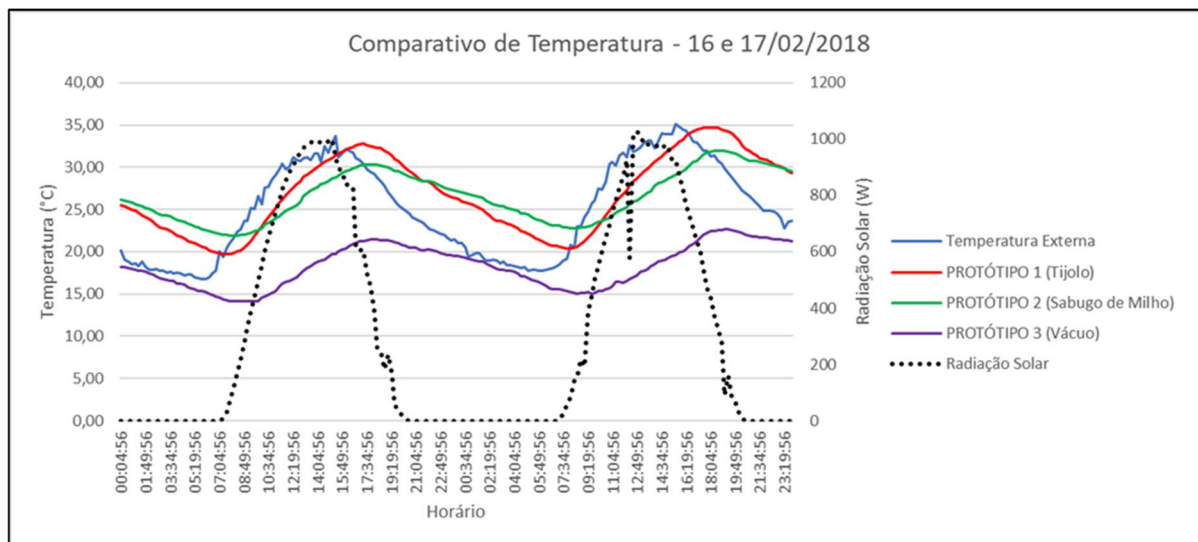
Em comparação ao desempenho do ETICS o autor apresenta o quinto artigo no desenvolvimento da tese, intitulado “*Development of natural and innovative material for application as thermal insulation in buildings*”, aplicando como revestimento de fachada a placa de vácuo e uma placa de argamassa contendo camada de sabugo de milho triturado em seu interior. O protótipo no qual teve instalada a placa de vácuo apresentou um desempenho superior se comparado a placa com sabugo de milho, atingindo uma diferença de 8°C na temperatura interna se comparada a temperatura externa, enquanto a diferença de temperatura do protótipo com aplicação do sabuco de milho foi de 2,1°C, destacando-se a eficiência para a estratégia de inércia térmica da placa de vácuo (Gráfico 1).

Os dados analisados de temperatura interna para o sistema a vácuo se apresentaram de acordo com os parâmetros estabelecidos pela NBR 16401-2 (2008) e por Givoni (apud LAMBERTS et al., 2004), sendo necessário aprofundar o estudo relacionado ao percentual de umidade relativa do ar, para se determinar o índice de conforto térmico.

Os experimentos desenvolvidos com a utilização da casca de pinus para isolamento térmico apresentados no sexto artigo “Isolamento Térmico de Fachadas

com Utilização de Elemento Vegetal”, destaca uma diferença de temperatura externa em relação a temperatura interna do protótipo com isolamento de até 6,1°C, em que ao se dimensionar a carga térmica e o custo na utilização de um sistema de climatização artificial, uma possibilidade de redução de 62% no consumo de energia elétrica.

Gráfico 1 – Comparativo de Temperaturas



Fonte: Spinelli et al. (2019b, no prelo).

Ao se comparar os dados do sexto com o quarto e quinto artigo, verifica-se que a economia de energia foi apenas 8% superior ao sistema de isolamento com casca de pinus, porém, o sistema de isolamento a vácuo se apresentou superior em relação a diferença de temperatura interna dentro dos limites de conforto segundo a NBR 16401-2 (2008), o que pode representar uma economia de quase 100% de energia elétrica, pois não necessitaria utilizar sistema de climatização artificial.

### 9.3 Avaliação pelo Método Prescritivo (RTQ-C)

Ao se finalizar os experimentos com base em protótipos, o autor apresenta o sétimo artigo intitulado “*Energy Efficiency Assessment of the Involvement of an Educational Building Using the Prescription Method (RTQ-C)*”, simulando a utilização dos dados de condutividade térmica ( $\lambda$ ) mensurados no terceiro artigo. Pelo fato das simulações desenvolvidas terem sido aplicadas como uma reforma de uma edificação educacional, optou-se pela aplicação do sistema de isolamento ser aplicado no interior da edificação, em contraponto aos estudos desenvolvidos nos artigos anteriores quando em protótipos.

Similar ao sistema de etiquetagem de eletrodomésticos, a avaliação pelo método prescritivo apresentado no RTQ-C analisa os dados da envoltória, sistemas de iluminação, climatização artificial e bonificações para elevadores instalados na edificação em análise.

Tabela 2: Classificação da envoltória da edificação pelo RTQ-C.

COMPOSIÇÃO ENVOLTÓRIA	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA COMPOSIÇÃO (U)	TIPO ENVOLTÓRIA	NÍVEL CLASSIFICAÇÃO RTQ-C
Alvenaria bloco cerâmico aparente	3,48 W/m <sup>2</sup> K	Transmitância da parede	Nível D U ≤ 3,7W/m <sup>2</sup> K
Alvenaria original (reboco + bloco cerâmico maciço + reboco)	3,34 W/m <sup>2</sup> K	Transmitância da parede	Nível D U ≤ 3,7W/m <sup>2</sup> K
ETICS	0,67 W/m <sup>2</sup> K	Transmitância da parede	Nível A U ≤ 1 W/m <sup>2</sup> K
Alvenaria original + camada ar 5cm + drywall interno	1,75 W/m <sup>2</sup> K	Transmitância da parede	Nível B U ≤ 2W/m <sup>2</sup> K
Alvenaria original + isopor (EPS) + camada ar 2cm + drywall interno	0,74 W/m <sup>2</sup> K	Transmitância da parede	Nível A U ≤ 1 W/m <sup>2</sup> K
Alvenaria original + casca pinus 3cm + camada ar 2cm + drywall interno	0,95 W/m <sup>2</sup> K	Transmitância da parede	Nível A U ≤ 1 W/m <sup>2</sup> K
Alvenaria original + palha soja 3cm + camada ar 2cm + drywall interno	0,93 W/m <sup>2</sup> K	Transmitância da parede	Nível A U ≤ 1W/m <sup>2</sup> K
Alvenaria original + sabugo milho 3cm + camada ar 2cm + drywall interno	0,88 W/m <sup>2</sup> K	Transmitância da parede	Nível A U ≤ 1W/m <sup>2</sup> K
Alvenaria original + slimstone + camada ar + drywall interno	1,39 W/m <sup>2</sup> K	Transmitância da parede	Nível B U ≤ 2 W/m <sup>2</sup> K
Alvenaria original + placa vácuo + camada ar + drywall interno	1,05 W/m <sup>2</sup> K	Transmitância da parede	Nível B U ≤ 2 W/m <sup>2</sup> K

Fonte: Adaptado de Spinelli et al. (2019c, no prelo).

As análises pelo método prescritivo destacam a eficiência dos elementos de isolamento térmico desenvolvidos, apresentando níveis de eficiência superiores a envoltória original da edificação simulada e se comparado a envoltória dos protótipos analisados nos artigos anteriores. Assim, nestes casos, a transmitância térmica se mostrou adequada para a utilização em edificações na Zona Bioclimática Dois (localização da cidade de Lajeado/RS).

Porém, ao se comparar os níveis de classificação do RTQ-C com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e NBR 15575-3 (ABNT, 2013), respectivamente as normas indicam que para a Zona Bioclimática Dois o índice de transmitância térmica devem se  $U < 3,00$  W/m<sup>2</sup>K e  $U < 2,5$  W/m<sup>2</sup>K. Ao seguir as indicações das NBR's e buscar a classificação

pelo método prescritivo, necessariamente não seriam projetos com envoltórias energeticamente eficientes, pois ao se utilizar materialidades com o limite de transmitância térmica, o nível de classificação será C.

#### 9.4 Simulação Matemática

Ao se desenvolver uma simulação rápido da carga térmica gerada por 1,00 m<sup>2</sup> de algum tipo de composição de envoltória, pode-se simular a economia de energia elétrica, conforme apresentado por Spinelli et al. (2018a), reduzindo a utilização de sistema de climatização artificial.

A Tabela 3 apresenta o percentual de economia de energia elétrica para cada tipo de envoltória, ao se comparar com as composições mais utilizadas na região da cidade de Lajeado/RS, incluindo a edificação analisada no artigo sete. Destaca-se o desempenho dos elementos de isolamento térmico desenvolvidos a partir de materiais naturais se comparados ao EPS. O sistema ETCS mantém elevado índice de eficiência (81%) se comparado a envoltória sem isolamento e sem reboco, porém, os elementos naturais são apenas 5% menos eficientes que uma envoltória com o elemento industrializado instalado nela, com destaque para a composição de envoltória com aplicação do material a base de sabugo de milho (76%).

Tabela 3 – Economia de energia em relação ao tipo de envoltória.

COMPOSIÇÃO ENVOLTÓRIA	U (W/m <sup>2</sup> K)	CARGA TÉRMICA (W)	CONSUMO ENERGÉTICO (kW.h)	ECONOMIA (COMP. ENVOLTÓRIA SEM REVESTIMENTO)	ECONOMIA (COMP. ENVOLTÓRIA COM REBOCO)
Tijolo Aparente	3,48	80,82	0,27575	0%	0%
Alvenaria original (reboco + bloco cerâmico maciço + reboco)	3,34	64,13	0,20857	24%	0%
ETICS (5cm)	0,67	15,65	0,0534	81%	76%
Alvenaria original + camada ar 5cm + drywall interno	1,75	35,68	0,12174	56%	44%
Alvenaria original + isopor (EPS 5cm) + camada ar 2cm + drywall interno	0,74	16,95	0,05783	79%	74%
Alvenaria original + casca pinus 3cm + camada ar 2cm + drywall interno	0,95	20,84	0,0711	74%	68%

(continua ...)

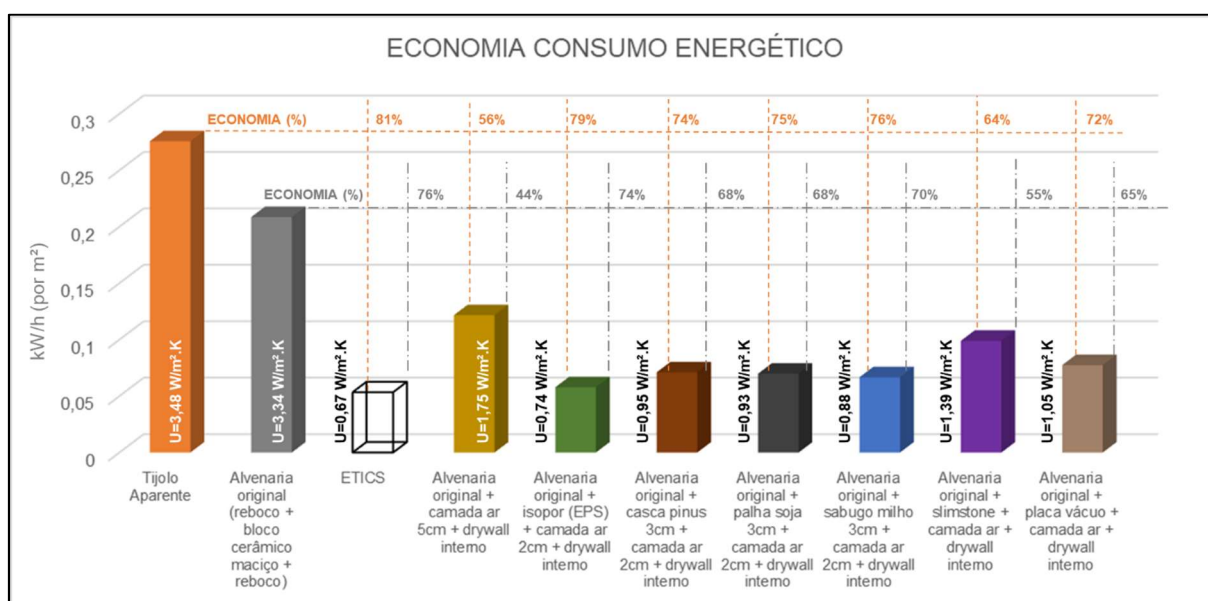
(... continua)

Alvenaria original + palha soja 3cm + camada ar 2cm + drywall interno	0,93	20,47	0,06984	75%	68%
Alvenaria original + sabugo milho 3cm + camada ar 2cm + drywall interno	0,88	19,54	0,06667	76%	70%
Alvenaria original + slimstone + camada ar + drywall interno	1,39	29,00	0,09895	64%	55%
Alvenaria original + placa vácuo + camada ar + drywall interno	1,05	22,70	0,07745	72%	65%

Fonte: Adaptado de Spinelli et al. (2019c, no prelo).

Ao se comparar os dados simulados para economia de energia dos elementos inovadores (placa de *slimstone* e placa de vácuo) em relação os elementos industrializados e vegetais (Gráfico 2), novamente os índices de desempenho dos elementos vegetais se apresentam como alternativa eficiente e viável de ser aplicada em edificações. Salienta-se também que os elementos inovadores também consomem elevada quantidade de energia para o seu desenvolvimento e produção dos materiais, tendo em vista que no processo de industrialização envolvido na fabricação há elevado gasto energético e aplicação produtos químicos, muitos não renováveis.

Gráfico 2 – Comparativo de economia no consumo energético.



### 9.5 Possibilidades de Ganhos Ambientais e a Relação com os ODS

A possibilidade de utilização de elementos naturais em edificações apresenta-se assim como um elemento construtivo viável para ser desenvolvido em larga escala. Dados apresentados pelo Ministério da Agricultura e (BRASIL, 2017 apud SPINELLI et al., 2018a) e Embrapa (2017; 2018, apud SPINELLI et al., 2018a), destacam o grande potencial produtivo para culturas como milho, arroz, girassol e soja, disponibilizando matéria prima em larga escala nos períodos de colheita.

Ao se analisar o sistema de produção utilizado, segundo Grote e Silveira (2002, p. 9), destaca-se que a produção de 8.000 m<sup>3</sup> de EPS são necessários 100.000 litros de óleo combustível e de aproximadamente 4,5 MWh/mês, elevando os gastos de produção do material, sendo equivalente a emissão de 585 kg CO<sub>2</sub>/MWh (GROTE; SILVEIRA; 2002, p. 9).

Em contra partida a produção de EPS, se pegar como exemplo a produção de elemento a base de casca de pinus, Azcárate et al. (2015) observam que uma floresta de pinus sem manejo possui a capacidade de sequestrar uma quantidade de 15,4tCO<sub>2</sub>/ha, bem como se amplia a captura de CO<sub>2</sub> para 23,4tCO<sub>2</sub>/ha com um desbaste de 37% da floresta (AZCÁRATE et al., 2015), contribuindo assim para a diminuição do gases de efeito estufa.

Rodrigues et al. (2013) apresenta resultados sobre a captura de CO<sub>2</sub> para a cultura de soja na cidade de Cruz Alta/RS, utilizando dados de satélite (Landsat 5), dados fenológicos e de estação micrometeorológica durante o período de desenvolvimento da cultura da soja, durante o período do dia há aprisionamento de CO<sub>2</sub>, e no período noturno a liberação. Porém, se destaca que em período de maior incidência de radiação solar, maior o aprisionamento de CO<sub>2</sub>, principalmente no período de seu estado vegetativo (RODRIGUES et al., 2013).

A possibilidade de produção dos materiais propostos em grande escala, pode-se destacar uma conexão com seis, dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS (ONU, 2015), enquadrando-se no conceito de desenvolvimento sustentável, com abrangência social, ambiental e econômico, contemplando assim o ciclo virtuoso (Tabela 4).

Tabela 4 – Relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

ODS	RELAÇÃO COM O PROJETO
<i>III - Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;</i>	A aplicação dos materiais desenvolvidos na tese em edificações residenciais, visa possibilitar a adequação do ambiente construído as estratégias de conforto térmico (ABNT, 2008), proporcionando assim melhores condições de moradia.
<i>VI - Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;</i>	Para a produção dos elementos pesquisados, a utilização de água potável reduzido, sendo utilizado apenas na execução das alvenarias e no revestimento das placas de fachada. Se ocorrer modificação no sistema construtivo, surge como opção o sistema de construção seca, praticamente não utilizando água, preservando o recurso para o consumo humano e produção de alimentos.
<i>VII - Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos;</i>	As simulações realizadas a partir da aplicação dos elementos naturais e inovadores pesquisados, apontam para uma significativa economia de energia, possibilitando assim redução no consumo energético de forma sustentável, como forma de manutenção de edificações sendo residenciais e/ou comerciais.
<i>VIII - Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos;</i>	A produção em grande escala dos elementos pesquisados devem estar relacionadas as regiões em que há produção agrícola local, para assim evitar o transporte desnecessário de matéria prima, fomentando a contratação de mão de obra residente na região, proporcionando geração de renda e a possibilidade de minimizar a migração de população das áreas agrícolas para centros urbanos.

(continua ...)



(... continuação)

*IX - Construir infraestruturas robustas, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;*

O desenvolvimento das propostas, partem de um carácter sustentável e inovador, com possibilidade fabricação inclusiva, a partir do fomento de cooperativas comunitárias, em que o material produzido seja utilizado de maneira permanente em edificações, não de forma paliativa, mas sim como elemento construtivo duradouro e de qualidade.

*XII - Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;*

Minimizar o impacto da indústria da construção civil a partir da utilização de matéria prima renovável, reduzindo assim o consumo de elementos manufaturados pela indústria extrativista e com grande impacto no consumo energético.

---

## 10 CONCLUSÃO

A ausência de planejamento e inadequação dos projetos de edificações as características climáticas locais, tornam-se inaceitáveis para os atuais conceitos de sustentabilidade ambiental, econômica e social. Repensar a execução de edificações voltadas não apenas a eficiência energética, mas a materialidade a qual será utilizado para a construção, se destacam como elemento chave para a redução no consumo de matéria prima não renovável.

Analisar e/ou desenvolver a carta bioclimática de uma determinada região apresenta estratégias importantes a serem aplicadas nas etapas iniciais do desenvolvimento projetual, norteando o profissional na escolha adequada do sistema construtivo e aproveitamento dos recursos naturais como incidência solar e ventilação natural. A estratégia de inercia térmica, com aplicação de elementos de isolamento térmico, expande a possibilidade de desenvolvimento de novos materiais, tendo em vista que atualmente estes elementos construtivos se utilizam muito de recursos não renováveis e poluentes. O desenvolvimento de novos materiais, atrelados a análise do local, preocupados com a aplicação de estratégias construtivas bioclimáticas remete ao passado, a estratégias construtivas vernaculares, estas esquecidas com o surgimento do desenvolvimento tecnológico e principalmente dos sistemas de climatização artificial.

Quanto a materialidade, novos elementos com a utilização de matéria prima de origem vegetal deveriam ganhar mais espaço na indústria da construção, pois, os índices apresentados no desenvolvimento desta tese, destacam os níveis de eficiência obtidos nos ensaios executados, principalmente relacionados a capacidade de condução de calor (condutividade térmica), estados estes elementos aplicados em

protótipos ou simulados por equações matemáticas, representando uma redução significativa no consumo energético final, em caso de utilização de um sistema de climatização artificial.

O desenvolvimento de elementos inovadores (placa de vácuo e placa de *slimstone*) destacam-se pelos índices obtidos relacionados a redução do consumo energético, e devem evoluir no desenvolvimento das análises quanto a sua materialidade e forma de produção. A possibilidade de reutilização e reciclagem de materiais para a confecção destes elementos pode ampliar a gama de opções e aplicações, surgindo como opção para novas análises relacionadas as questões de sustentabilidade ambiental.

A estratégia de simulação a partir do método prescritivo do RTQ-C, ao comparado com os índices propostos pelas NBR 15220 e NBR 15575, destacam a necessária revisão das mesmas, pois as simulações desenvolvidas demonstram a incompatibilidade dos resultados de níveis de eficiência para a classificação de transmitância térmica para envoltórias no RTQ-C se comparados aos índices determinados pelas NBR's para as alvenarias pesadas e leves.

O Brasil apresenta muitas possibilidades para o desenvolvimento de novas tecnologias construtivas. Por mais que se tenham opções de extração de matéria prima para o desenvolvimento de elementos construtivos, é notória a capacidade produtiva agrícola e o quanto de resíduos destas culturas podem ser reutilizados para o desenvolvimento de uma nova cadeia produtiva, fortemente envolvida com o desenvolvimento sustentável, tanto para a manutenção de recursos naturais não renováveis e como alternativa de proporcionar o desenvolvimento de indústria criativa e comunidades, com geração de renda, moradia digna e inclusão social.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16401-2 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários: Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**: ABNT, 2008.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575 – Edifícios habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASDRUBALI, Francesco; D’ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI, Samuel. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**. V.4, julho, p. 1–17. 2015a.

AZCÁRATE, Ales; BARGUILLA, Gabriel; BASSOLS, Jordi; CANUDAS, Pol. **Captura de carboni a la Vall d’Alinyà: el bosc de pi roig (Pinus sylvestris) a l’Obaga de Colldéu**. Barcelona, 2015. Disponível em: <<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.D0C1BE26&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>>. Acesso em: 2 set. 2019.

BAVARESCO, Mateus V.; MAZZAFERRO, L.; MELO Ana p.; LAMBERTS, Roberto. Análise da Precisão de um Metamodelo para a Avaliação da Envolvência de Acordo com o Regulamento Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Em: **XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Balneário Camboriú, 27 a 29 de setembro de 2017.

BOAFO, F.E.; CHEN, Z.; LI, C.; LI, B.; XU, T.. Structure of vacuum insulation panel in building system. **Energy and Buildings**. V. 85, p. 644–653. Dez. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814005490>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

BRASIL. Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/l10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm)>. Acesso em: 28 fev 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. GOVERNO DO BRASIL. Safra de grãos 2016/2017 deve chegar a 227,9 milhões de toneladas. **Portal Brasil**. Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/04/safra-de-graos-2016-2017-deve-chegar-a-227-9-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

BURROUGH-BOENISCH, Joy. PhD thesis: Being more open about PhD papers. **Nature**, v. 536, n. 7616, p. 274, 2016. doi: 10.1038/536274b.

CAMBEIRO, Faustino P.; ARMESTO, Julia; BARBEITO, Faustino P.; BASTOS, Guillermo. Perspectives on Near ZEB Renovation Projects for Residential Buildings: The Spanish Case. **Energies**. V. 9, n. 8, p. 2-16. Ago. 2016. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/9/8/628/htm>>. Acesso em: 10 out. 2017.

CARLO, Joycena C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações não-residenciais**. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 2008.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

DUTRA, Miguel R. **Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas: Análise do comportamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2010. 102p. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Porto, mar. 2010.

ELETROBRAS/PROCEL; INMETRO; CB3E/UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

EPE. **O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, junho de 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/EPEpublicapremissas.aspx>>. Acesso em: 30 Jun. 2017.

EPE. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) – 2004-2017**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, maio de 2017. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9trica porclasse\(regi%C3%B5esesubsistemas\)%E2%80%932011-2012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9trica porclasse(regi%C3%B5esesubsistemas)%E2%80%932011-2012.aspx)>. Acesso em: 30 de Jun. 2017.

FLORES, Josmar Almeida. **Sustentabilidade das biomassas amazônicas como fonte de bioenergia**. 151 f. Tese (Doutorado em Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 1 dez. 2018.

FRANK, Alejandro Germán. **Formatos alternativos de teses e dissertações**. Blog Ciência Prática, 2013. Disponível em: <<https://cienciapratica.wordpress.com/2013/04/15/formatos-alterativos-de-teses-edissertacoes/>>. Acesso em: 29 de set. 2017.

FROTA, Anésia Barros. **Geometria da insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual do conforto térmico**. 8ª ed. São Paulo, 2007.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company Limited. (Architectural science series.), 1969

GROTE, Z. V., SILVEIRA, J. L. Análise Energética e Exergética de um Processo de Reciclagem de Poliestireno Expandido (Isopor). **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**. Ano 3, n. 3, p. 9-27. São Paulo, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Building materials – non-combustibility test – ISO 1182**. Switzerland, 2010. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:1182:ed-5:v1:en>>.

JOURDA, Françoise-Hélène. **Pequeno Manual do Projeto Sustentável**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2012.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre, 2010.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico em ambientes internos. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**, 2003. (Material didático para disciplina conforto térmico). Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/Resumo.asp?1250>>. Acesso em: 04 out. 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: Prolivros, 2004.

LAMBERTS, R. GHISI, E. PEREIRA, C. D. BATISTA, J. O. **Casa eficiente: simulação computacional do desempenho termo-energético**. Florianópolis; UFSC/LabEEE; v. 4 (53 p.); 2010.

LIMA MUNIZ, Francisco G; CARACRISTI, Isorlanda. Urbanização, Conforto Térmico e Análise Sazonal Microclimática da Cidade de Sobral(Ce). **Revista da Casa da Geografia de Sobral**. Sobral, v. 17, n. 1, p. 4-17. Mar. 2015.

MARCOS, Juliana Sofia Lopes. **Materiais Naturais Alternativos de Isolamento Térmico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2015. 97p. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2015.

MARQUES, Bruno R.; MARTINS, Lucas J. R.; ANDRADE, Francisco de A. POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA: De Meio Ambiente a Biocompatibilidade. In. II ENCONTRO CIENTÍFICO UNISALESIANO. **Trabalhos Aceitos**. Lins: UNISALESIANO, 2009. Disponível em: <<http://www.unisalesiano.edu.br/encontro2009/trabalho/aceitos/CC36939464859.pdf>>.

MUJEEBU, M. A.; ALSHAMRANI, Othman. Prospects of Energy Conservation and Management in Buildings – The Saudi Arabian Scenario versus Global Trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 58, p. 1647-1663. 2016.

NASA. Long-Term Warming Trend Continued in 2017: NASA, NOAA. **National**

**Aeronautics and Space Administration.** Estados Unidos, 2018. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/press-release/long-term-warming-trend-continued-in-2017-nasa-noaa>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

NAKAMURA, Natália Kokumai; MACIEL, Liliene Fernandes; CARLO, Joyce Correna. Impactos de medidas de conservação de energia propostas no PBE Edifica para o nível de eficiência energética de envoltórias de um edifício naturalmente condicionado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 105-119, dezembro 2013.

NASSI-CALÒ, Lilian. **Teses e dissertações: prós e contras dos formatos tradicional e alternativo** [online]. **SciELO em Perspectiva**, 2016. Disponível em: <<http://blog.scielo.org/blog/2016/08/24/teses-e-dissertacoes-pros-e-contras-fosformatos-tradicional-e-alternativo/>>. Acesso em: 29 de set. 2017.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Link: <[http://www.agenda2030.org.br/saiba\\_mais/publicacoes](http://www.agenda2030.org.br/saiba_mais/publicacoes)>. Acesso em 5 jul. 2019.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Acordo de Paris para o clima entra em vigor; ONU pede mais esforços na redução de emissões**. 2016. Link: <<https://nacoesunidas.org/acordo-de-paris-para-o-clima-entra-em-vigor-onu-pede-mais-esforcos-na-reducao-de-emissoes/>>. Acesso em 07 nov. 2016.

PANYAKAEW, Satta; FOTIOS, Steve. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. **Energy and Buildings**. V. 43, n.7, p. 1732–1739. Jul. 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811000934?via%3Dihub>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

PROCEL. **Resultados PROCEL 2016: Ano Base 2015**. Brasília: Eletrobrás, 2016. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2016/>>. Acesso em: 3 Jul. 2017.

PROCEL INFO. **Edificação**. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04}>>. Acesso em: 28 Jun. 2017.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS, Stephanie. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

RODRIGUES, C.P.; FONTANA, D.B.; MORAES, O.L.L.; ROBERTI, D.R. NDVI e Fluxo de CO<sub>2</sub> em Lavoura de Soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. V.28, N. 1, p. 95-104. 2013. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/111964/000929970.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 2 set. 2019.

SALGADO, Julio C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 3. ed. rev. São Paulo: Érica, 2014.

SANTIAGO, Pedro. Fachadas Inteligentes e Bioclimática. Metáfora Orgânica. **Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia**, Porto, n. 4, p.38-47, 2007.

SOFFIATI, Arthur. Algumas palavras sobre uma teoria da eco-história. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Curitiba, n. 18, p.13-26. jul./dez. 2008.

SPINELLI, R.; ALVES, A.; KONRAD, O. Cidade e Edificações: A busca por um novo modelo. **Destaques Acadêmicos**. Lajeado, v. 5, n. 4, p.173-186. dez. 2013.

SPINELLI, R.; KONRAD, Odorico; CAMBEIRO, F. P.; AHLERT, Edson; SPINELLI, F. B.; QUADROS, E. A. Bioclimatic Strategies for The City of Lajeado/RS-Brazil, Using Data Analysis of Regional Climate. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba, v. 21, n. 2, p. 153-171. jul./dez. 2017.

SPINELLI, R.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Estudo de Materiais Naturais para Aplicação em Isolamento Térmico de Edificações. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.3, p.121-135, 2018a.

SPINELLI, R.; MOTTIN, M. H.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Isolamento Térmico de Fachadas: Redução do Consumo Energético de Edificações para Zona Bioclimática Dois. **Sustentabilidade em Debate**. Brasília, v. 9, n.1, p. 172-186, abril. 2018b.

SPINELLI, R.; PASQUALI, Pedro H. D. A.; BERTOTTI, Angélica; LERIN, Dantara; PITOL, Alana F.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Development of Methodology for Determining the Physical Properties of Natural and Innovative Materials. **Advanced Materials Research**. 2019a, no prelo.

SPINELLI, R.; LERIN, Dantara; SPOHR, G.L.S.; PASQUALI, P.H.D.A.; PITOL, A.F.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Development of Natural and Innovative Material for Application as Thermal Insulation in Buildings. **Sustentabilidade em Debate**. Brasília. 2019b, no prelo.

SPINELLI, R.; CARNEIRO, Luã; PASQUALI, P. H. D.A.; PITOL, A. F.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Isolamento Térmico de Fachadas com Utilização de Elemento Vegetal. **Simpósio Mundial de Sustentabilidade, Conferência Internacional Bridge**. Florianópolis, 2019c, no prelo.

SPINELLI, R.; PITOL, A. F.; PASQUALI, P. H. D.A.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. Energy Efficiency Assessment of the Involvement of an Educational Building Using The Prescription Method (RTQ-C). **Environmental Quality Management**. EUA. 2019d, no prelo.

UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI. Resolução nº 167/Reitoria/Univates, de 10 de dezembro de 2012. **Regimento do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Taquari**. Disponível em: <<https://www.univates.br/ppgad/conheca-o-ppgad>>. Acesso em: 11 de maio de 2018.

YUN, Yosun; CHO, Dongwoo; CHAE, Changu. Analysis of Green Building Certification System for Developing G-SEED: Focusing on the Comparison of LEED and BREEAM. **Future Cities & Environment**, [s. l.], v. 4, p. 1–9, 2018. Disponível em:



<<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=133763274&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Artliber Editora, 2005.

## **APÊNDICE A**

Documentos referente ao artigo publicado no periódico Revista Brasileira de Climatologia (ISSN 2237-8642), *Qualis* A2 em Ciências Ambientais.



RODRIGO SPINELLI &lt;rspinelli@univates.br&gt;

---

**[ABCLima] Decisão editorial**

---

ojs@c3sl.ufpr.br &lt;ojs@c3sl.ufpr.br&gt;

10 de agosto de 2017 09:10

Responder a: Revista Brasileira Climatologia &lt;rbclima2014@gmail.com&gt;

Para: Spinelli Rodrigo Spinelli &lt;rspinelli@univates.br&gt;

Cc: Odorico Konrad &lt;okonrad@univates.br&gt;, Faustino Patiño Cambeiro &lt;faustinopec@gmail.com&gt;, Edson Ahlert &lt;edsonahlert@univates.br&gt;, Fabiana Braun Spinelli &lt;fabib74@gmail.com&gt;, "Eric Augusto R. de Quadros" &lt;equadros1@universo.univates.br&gt;

Prezado Rodrigo Spinelli:

Foi tomada uma decisão sobre o artigo submetido à Revista Brasileira de Climatologia, "BIOCLIMATIC STRATEGIES FOR THE CITY OF LAJEADO/RS-BRAZIL, AB INITIO ANALYSIS OF REGIONAL CLIMATIC DATA".

A decisão é: Revisões necessárias.

Segue abaixo, no corpo do texto as revisões solicitadas.

Seu prazo para submeter a nova versão é 10/09/2017

Revista Brasileira Climatologia

[rbclima2014@gmail.com](mailto:rbclima2014@gmail.com)-----  
Avaliador A:

1) O texto apresenta linguagem clara, sem problemas gramaticais?

:

Sim

COMENTÁRIOS:

2) Os objetivos estão claramente descritos ?

:

Sim

COMENTÁRIOS:

3) A metodologia utilizada na pesquisa é adequada e coerente ?

:

Sim

COMENTÁRIOS:

4) O tratamento das fontes (estatísticas, bibliográficas, documentais etc.) é suficiente, claro e pertinente?

:

Sim

COMENTÁRIOS:

5) Os resultados e conclusões são pertinentes e respondem aos objetivos

propostos ?

:

Sim

COMENTÁRIOS:

6) O artigo fornece contribuição teórico-empírica e/ou metodológica para a Climatologia ?

:

Sim

COMENTÁRIOS:

Quanto à publicação:

:

Recomendo como Artigo

Quanto ao conteúdo:

:

Aceito sem restrições

Aceito com pequenas revisões, sem necessidade de retornar para novo parecer

Parecer para envio ao autor:

:

O autor atendeu as exigências solicitadas e recomendo o aceite do artigo para publicação.

-----

-----

Avaliador B:

1) O texto apresenta linguagem clara, sem problemas gramaticais?

:

Parcialmente

COMENTÁRIOS:

O ingles necessita de revisão.

2) Os objetivos estão claramente descritos ?

:

Sim

COMENTÁRIOS:

3) A metodologia utilizada na pesquisa é adequada e coerente ?

:

Parcialmente

COMENTÁRIOS:

As máximas absolutas mensais não foram incluídas

4) O tratamento das fontes (estatísticas, bibliográficas, documentais etc.) é suficiente, claro e pertinente?

:

Sim

## COMENTÁRIOS:

5) Os resultados e conclusões são pertinentes e respondem aos objetivos propostos ?

:

Sim

## COMENTÁRIOS:

6) O artigo fornece contribuição teórico-empírica e/ou metodológica para a Climatologia ?

:

Sim

## COMENTÁRIOS:

Quanto à publicação:

:

Recomendo como Artigo

Quanto ao conteúdo:

:

Aceito com pequenas revisões, sem necessidade de retornar para novo parecer

Parecer para envio ao autor:

:

Poucas modificações foram feitas com base no artigo anterior além da necessidade de uma revisão do ingles. Contudo o artigo é relevante.

-----  
Revista da ABCLima

<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/abclima>



RODRIGO SPINELLI &lt;rspinelli@univates.br&gt;

---

**[ABCLima] Solicitação de leitura de provas ao autor**

---

ojs@c3sl.ufpr.br &lt;ojs@c3sl.ufpr.br&gt;

13 de setembro de 2017 09:09

Responder a: Revista Brasileira Climatologia &lt;rbclima2014@gmail.com&gt;

Para: Spinelli Rodrigo Spinelli &lt;rspinelli@univates.br&gt;

Rodrigo Spinelli,

Solicitamos a leitura de provas do trabalho "BIOCLIMATIC STRATEGIES FOR THE CITY OF LAJEADO/RS-BRAZIL, AB INITIO ANALYSIS OF REGIONAL CLIMATIC DATA", submetido à revista Revista Brasileira de Climatologia, conforme as instruções a seguir:

1. Clique na URL da submissão, informada mais adiante nesta mensagem.
2. Acesse o sistema da revista e leia as INSTRUÇÕES PARA LEITURA DE PROVAS
3. Clique em LER PROVA na seção Layout e revise a composição nos formatos disponíveis.
4. Informe as solicitações de correções (tipográficas e de formatação) em Correções da prova
5. Salve e envie o e-mail com as correções ao editor de layout e ao leitor de prova.
6. Clique no ícone de e-mail sob CONCLUÍDO e envie a mensagem ao editor.

URL da Submissão:

<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/author/submissionEditing/50554>

Login: rspinelli

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos desde já sua colaboração, fundamental para a qualidade da revista.

Revista Brasileira Climatologia

[rbclima2014@gmail.com](mailto:rbclima2014@gmail.com)

---

Revista da ABCLima<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/abclima>



RODRIGO SPINELLI &lt;rspinelli@univates.br&gt;

---

## [ABCLIMA] Publicação de Nova Edição

---

**Revista Brasileira de Climatologia** <rbclima2014@gmail.com>

15 de setembro de 2017 17:27

Para: pedro\_spe@hotmail.com, vivianegomesgeo@gmail.com, Sese Sitio <josicleda@hotmail.com>, geo\_fisica@yahoo.com.br, weronicameira@gmail.com, bruno-unifal@hotmail.com, Paulo Henrique de Souza <phsouza31@hotmail.com>, fvecchia@sc.usp.br, Spinelli Rodrigo Spinelli <rspinelli@univates.br>, okonrad@univates.br, faustinopc@gmail.com, edsonahlert@univates.br, fabib74@gmail.com, equadros1@universo.univates.br

Prezados autores


Segundo o ideal do formato Ahead of Print (AOP) que prevê a publicação antecipada e imediata de artigos aprovados após o processo de avaliação, informamos que seus artigos foram publicados no volume 21 da Revista Brasileira de Climatologia.

Informamos que o volume manterá-se aberto até o mês de dezembro com publicações de 3 em 3 artigos conforme seu aceite e que somente neste mês deveremos realizar o cadastro total dos DOI's deste volume.

Informamos contudo, que apesar disso, seus artigos já podem ser visualizados e inseridos em seus respectivos Lattes da forma manual.

Pedimos que revisem os artigos publicados e qualquer dúvida ou problema estamos a disposição.

Atenciosamente  
Equipe RBCLima



ACESSO RESTRITO

(/sucupira/portais/menu\_portal.jsf)

INÍCIO (/SUCUPIRA/PUBLIC/INDEX.JSF) >> Qualis >> Qualis Periódicos

Qualis Periódicos

\* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2013-2016 ▾

Área de Avaliação:

☐ -- SELECIONE -- ▾ +

ISSN:

☒ 2237-8642

Título:

☒ revista brasileira de climatologia

Classificação:

☐ -- SELECIONE -- ▾

Consultar

Cancelar

Periódicos

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2237-8642	REVISTA BRASILEIRA DE CLIMATOLOGIA	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO	B4
2237-8642	REVISTA BRASILEIRA DE CLIMATOLOGIA	ANTROPOLOGIA / ARQUEOLOGIA	B4
2237-8642	REVISTA BRASILEIRA DE CLIMATOLOGIA	CIÊNCIAS AGRÁRIAS I	B5
2237-8642	REVISTA BRASILEIRA DE CLIMATOLOGIA	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	A2
2237-8642	REVISTA BRASILEIRA DE CLIMATOLOGIA	ENGENHARIAS I	B3
2237-8642	REVISTA BRASILEIRA DE CLIMATOLOGIA	GEOCIÊNCIAS	B5
2237-8642	REVISTA BRASILEIRA DE CLIMATOLOGIA	GEOGRAFIA	B1
2237-8642	REVISTA BRASILEIRA DE CLIMATOLOGIA	HISTÓRIA	B5
2237-8642	REVISTA BRASILEIRA DE CLIMATOLOGIA	INTERDISCIPLINAR	B2

Início

Anterior

1 ▾

Próxima

Fim

1 a 16 de 16 registro(s)

(/sucupira/public/index.xhtmll)

(http://www.capes.gov.br) (http://www.ufrn.br) (https://www.rnp.br) (http://www.mec.gov.br) (http://www.brasil.gov.br)



## **APÊNDICE B**

Documentos referente ao artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais - RICA (ISSN 2179-6858), *Qualis* B1 em Ciências Ambientais.



RODRIGO SPINELLI &lt;rspinelli@univates.br&gt;

---

## [RICA] Decisão Editorial

---

**Carlos Eduardo Silva** <carlos@sustenere.co>

19 de outubro de 2017 14:52

Para: Rodrigo Spinelli &lt;rspinelli@univates.br&gt;, "Faustino Patiño Cambeiro, FPC" &lt;faustinopc@gmail.com&gt;, "Odorico Konrad, O.Konrad" &lt;okonrad@univates.br&gt;

Rodrigo Spinelli, Faustino Patiño Cambeiro, FPC, Odorico Konrad, O.Konrad,

Foi tomada uma decisão sobre o artigo submetido à revista Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, "REVISÃO: ESTUDO DE MATERIAIS NATURAIS PARA APLICAÇÃO EM ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES".

É com muita satisfação que informamos que seu artigo foi ACEITO para publicação na edição da **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA V09 N02 2018)**, QUALIS CAPES B1, para lançamento em 2018, da Sustenere Publishing Corporation.

Em 2018, os artigos aprovados só serão encaminhados para EDIÇÃO FINAL após pagamento da taxa de publicação. O que irá permitir o registro internacional do DOI CrossRef, o que garante a ligação direta entre o Lattes e o DOI.

Faz parte das políticas editoriais da Sustenere Publishing Corporation estabelecer a cobrança de uma taxa de registro do DOI e de hospedagem eterna dos artigos. Foi estabelecido para o ano de 2018 o valor de **R\$500,00 por artigo publicado** nesta revista. Atenção, a taxa cobrada não é por autor e sim por artigo publicado, os autores devem dividir entre si a taxa, e fazer pagamento único da publicação.

Caso resida no Brasil, solicitamos a gentileza de depositar o valor referente ao seu artigo, no **BANCO DO BRASIL**, Banco 001, Agência 3546-7, Conta 00037278-1, em favor de Carlos Eduardo Silva (CPF 002.832.195-21). Não utilize depósito via ENVELOPE, pois não será possível comprovar o pagamento.

Caso resida no Exterior, e não possa realizar pagamento no Banco do Brasil, solicitamos que realize pagamento no PayPal ([www.paypal.com](http://www.paypal.com)) em favor do e-mail [contato@sustenere.co](mailto:contato@sustenere.co). O pagamento via PayPal deve ser acrescido da taxa de 5%, totalizando **R\$525,00**. Caso não tenha familiaridade com este procedimento estamos ao seu dispor para tirada de dúvidas.

É importante realizar o depósito logo após recebimento desta mensagem, e envio do comprovante, pois só então poderemos enviar seu artigo para EDIÇÃO FINAL e publicação na próxima edição.

Assim que realizar o depósito, favor enviar o comprovante para [contato@sustenere.co](mailto:contato@sustenere.co). Caso não identifiquemos o pagamento no prazo de 3 dias corridos (até 22/10/2017), iremos retirar o trabalho da pauta de publicação, pois precisamos dar andamento imediato à numeração da edição.

É importantíssimo e obrigatório que os dados dos autores estejam completos e atualizados no sistema ([www.sustenere.co/journals](http://www.sustenere.co/journals)), favor incluir para cada autor o nome completo, instituição, em URL inserir o link para o LATTES, e Link para o ORCID. O artigo só será publicado quando todos os dados estiverem completos e atualizados no sistema. Para completar dados faltantes, faça login no sistema e clique em EDITAR METADADOS.

Agradecemos sua opção em publicar em nossas revistas e sua contribuição financeira para continuidade deste projeto.

Agradecendo desde já a atenção dispensada,

Prof. Carlos Eduardo Silva  
CEO Sustenere Publishing Corporation  
<http://www.sustenere.co>

---

**Sustenere Publishing Corporation**

<http://www.sustenere.co/journals>



ACESSO RESTRITO

(/sucupira/portais/menu\_portal.jsf)

INÍCIO (/SUCUPIRA/PUBLIC/INDEX.JSF) &gt;&gt; Qualis &gt;&gt; Qualis Periódicos

## Qualis Periódicos

\* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2013-2016 ▼

Área de Avaliação:

☐ -- SELECIONE -- ▼ +

ISSN:

☒ 2179-6858

Título:

☐

Classificação:

☐ -- SELECIONE -- ▼

Consultar

Cancelar

## Periódicos

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO	B4
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	ASTRONOMIA / FÍSICA	C
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	BIODIVERSIDADE	C
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	BIOTECNOLOGIA	B5
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	CIÊNCIAS AGRÁRIAS I	B5
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	B1
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS II	C
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	COMUNICAÇÃO E INFORMAÇÃO	B5
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	DIREITO	B4
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	ECONOMIA	B5
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	EDUCAÇÃO	B4
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	EDUCAÇÃO FÍSICA	B5
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	ENGENHARIAS I	B3
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	ENGENHARIAS II	B4
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	ENGENHARIAS III	B4
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	ENSINO	B3
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	GEOGRAFIA	B4
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	INTERDISCIPLINAR	B3

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	MEDICINA VETERINÁRIA	B4
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL / DEMOGRAFIA	B2
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	QUÍMICA	C
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	ZOOTECNIA / RECURSOS PESQUEIROS	C

Início

Anterior

1 ▾

Próxima

Fim

1 a 22 de 22 registro(s)

(/sucupira/public/index.xhtml)

(<http://www.capes.gov.br>) (<http://www.ufrn.br>) (<https://www.rnp.br>) (<http://www.mec.gov.br>) (<http://www.brazil.gov.br>)

Compatibilidade

 (<http://www.google.com/intl/pt-BR/chrome/>)   
(<http://br.mozdev.org/firefox/download/>)  (<http://www.apple.com/safari/download/>)

Versão do sistema: 3.19.0 | Copyright 2016 Capes. Todos os direitos reservados.

## **APÊNDICE C**

Documentos referente ao artigo aceito para publicação na Revista *Advanced Materials Research* (ISSN 1662-8985), fator de impacto 0,87.



RODRIGO SPINELLI &lt;rspinelli@univates.br&gt;

---

**Your paper has been accepted for publication in Advanced Materials Research**

---

**Advanced Materials Research** <9783035714319@scientific.net>

6 de setembro de 2019 04:44

Responder a: Advanced Materials Research &lt;9783035714319@scientific.net&gt;

Para: "Prof. Rodrigo Spinelli" &lt;rspinelli@univates.br&gt;

Dear Prof. Rodrigo Spinelli,

Your article «Development of Methodology for Determining the Physical Properties of Natural and Innovative Materials» has been accepted\* for publication in the «Advanced Materials Research». Although no further action is required, you can verify the status of your article by logging in to the publisher's website :

Please to <https://www.scientific.net> and log in using the credentials below.Username : [rspinelli@univates.br](mailto:rspinelli@univates.br)

Password : VhPCT449

After you log in please select « Author » role near the top of the screen.

If any further changes in your article become necessary you must notify and obtain a permission from an Editor via E-mail PRIOR to uploading a new version. Thank you very much.

Best regards,

TTP Reviewer

*\*Before the publication all of the manuscripts accepted by editors undergo an additional internal quality check. They are verified for the absence of the plagiarism and redundant publication. The accepted manuscripts which do not pass this quality check are rejected from the publication in the journal.*

Gmail

Pesquisar e-mail

1 de 4.924

Escrever

Caixa de entrada

115

Com estrela

Adiados

Enviados

Rascunhos

Contacts

Emailed Contacts

RODRIGO

+

caziebell@gmail.com, Pedro

Pedro Henrique: alo!

Pedro Henrique Gonçalves

Você estava em uma videochan

Comissao Interna de Prevenç

Olá, está aberta a votação para a CI

Scientific.Net subscription confirmation

Caixa de entrada x

info@scientific.net

para eu

inglês

português

Traduzir mensagem

Desat

Dear Rodrigo Spinelli,

You have subscribed for the retrieval of the news from web-site <https://www.scientific.net> on e-mail address [rspinelli@univates.br](mailto:rspinelli@univates.br).

If it is correct please confirm your subscription visiting this [link](#)

Thanks for the interest to the news of our site.

Yours faithfully,

Administration of <https://www.scientific.net>

Responder

Encaminhar



Title: Advanced Materials Research

1. (/editing-tool/author/titles/4782/papers/550023/title-Title review)	<p>Please note this information is in <b>read only status</b>. You can add comments only.</p> <p><b>Checklist</b></p> <p><b>Paper: Development of Methodology for Determining the Physical Properties of Natural and Innovative Materials</b></p> <p>* I am aware of the information on <u>Policy and Ethics</u> (<u>/PolicyAndEthics/Ethics</u>).</p> <p>* I used personal login credentials to access my account on <u>https://www.scientific.net</u> (<u>https://www.scientific.net</u>).</p> <p>* I downloaded the Word/LaTex template from the Participant Home page and prepared the manuscript as given in the template.</p> <p>* I used <b>page settings A4</b> I only used the fonts <b>Times Roman (Times New Roman) and Helvetica (Arial)</b> for the entire document including special characters (<math>\alpha</math> <math>\gamma</math> <math>\mu</math> <math>\Omega</math> ) <math>\geq \pm \bullet \Gamma</math> {11 0}) because using other fonts will cause incorrect display of text or may change a special character to a square. I wrote the paper in <b>English; I didn't use any other language (even in Figures)</b>.</p> <p>* I uploaded Word file (.doc or .docx) or LaTeX files (.tex) together with the PDF file.</p> <p>* I accepted the terms of the Copyright Agreement and received the PDF copy by email.</p> <p>* I added authors' full first and last names, affiliation and contact emails.</p> <p>* I added keywords that describe the subject of the research and methods used.</p> <p>I suspect a potential conflict of interest (please email the details of the case to <u>authors@scientific.net</u> (<u>mailto:authors@scientific.net</u>)).</p> <p>I included color pictures and wish to have these printed in full color (please send an email to <u>authors@scientific.net</u> (<u>mailto:authors@scientific.net</u>) for more details). Online and on CD/DVD the pictures will always be shown in color, free of charge.</p>
2. Edit (/editing-Paper tool/author/titles/4782/papers/550023/update)	
3. Edit (/editing-Authors tool/author/titles/4782/papers/550023/authors)	
4. Edit (/editing-Keywords tool/author/titles/4782/papers/550023/keywords)	
5. (/editing-References tool/author/titles/4782/papers/550023/references)	
6. Copyright (/editing-Agreement tool/author/titles/4782/papers/550023/copyright)	
7. (/editing-Checklist tool/author/titles/4782/papers/550023/checklist)	

I'd like to pay additional fee to publish the paper in Open Access under CC BY 4.0 License (please send your request to [authors@scientific.net](mailto:authors@scientific.net) (<mailto:authors@scientific.net>)).

Submitted on 2019-06-26 14:57

[DISTRIBUTION & ACCESS \(/DISTRIBUTOR\)](#) [FOR PUBLICATION \(/FORPUBLICATION/CONFERENCE\)](#)

[SUPPLEMENTS \(/SUPPLEMENTS\)](#) [ABOUT US \(/HOME/ABOUTUS\)](#)

[POLICY & ETHICS \(/POLICYANDETHICS/PUBLISHINGPOLICIES\)](#) [CONTACT US \(/HOME/CONTACTS\)](#)

[IMPRINT & PRIVACY POLICY \(/HOME/IMPRINTANDPRIVACYPOLICY\)](#) [SITEMAP \(/HOME/SITEMAP\)](#)

[.\(https://www.facebook.com/Scientific.Net.Ltd/\)](https://www.facebook.com/Scientific.Net.Ltd/)

[.\(https://twitter.com/Scientific\\_Net/\)](https://twitter.com/Scientific_Net/)

[.\(https://www.linkedin.com/company/scientificnet/\)](https://www.linkedin.com/company/scientificnet/)

Scientific.Net is a registered brand of Trans Tech Publications Ltd  
© 2019 by Trans Tech Publications Ltd. All Rights Reserved

## Advanced Materials Research

Publisher: Trans Tech Publications

**RG Journal Impact: 0.87 \***

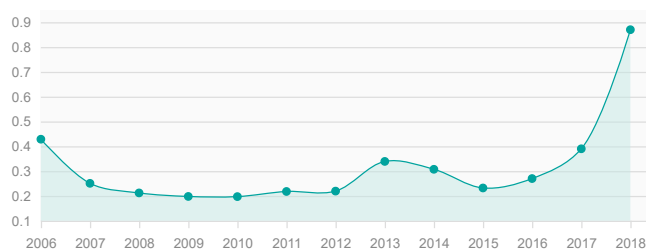
\*This value is calculated using ResearchGate data and is based on average citation counts from work published in this journal. The data used in the calculation may not be exhaustive.

## RG Journal impact history

<b>2019</b>	Available summer 2020
<b>2018</b>	0.87
<b>2017</b>	0.39
<b>2016</b>	0.27
<b>2015</b>	0.23
<b>2014</b>	0.31
<b>2013</b>	0.34
<b>2012</b>	0.22
<b>2011</b>	0.22
<b>2010</b>	0.20
<b>2009</b>	0.20
<b>2008</b>	0.21
<b>2007</b>	0.25
<b>2006</b>	0.43

## RG Journal impact over time

RG Journal impact



## Additional details

<b>Cited half-life</b>	data not available
<b>Immediacy index</b>	data not available
<b>Eigenfactor</b>	data not available
<b>Article influence</b>	data not available

## Website

## Website description

ISSN 1662-8958

## Publications in this journal

**Fabrication and Characterization of Injectable Biomaterials for Biomedical Applications**[Article](#)

Nov 2011

Ambalangodage C. Jayasuriya · Kristalyn Mauch · Nabil A. Ebraheim

The aim of this study is to evaluate the injectable cross-linked chitosan (CS) microparticles (MPs) to apply for biomedical applications specifically for bone regeneration. The CS MPs were fabricated by...

## **APÊNDICE D**

Documentos referente ao artigo publicado na Revista Sustentabilidade em Debate (ISSN 2179-9067), *Qualis* B1 em Ciências Ambientais.



RODRIGO SPINELLI &lt;rspinelli@univates.br&gt;

---

**[SustDeb] Decisão editorial**

---

**Gabriela Litre** <bibliotecasdigitais.naoresponda@bce.unb.br>

8 de janeiro de 2018 17:41

Responder a: Melissa Curi &lt;melissacuri@hotmail.com&gt;

Para: Professor Rodrigo Spinelli &lt;rspinelli@univates.br&gt;

Cc: Maurício Henrique Mottin &lt;mhmottin@gmail.com&gt;, Faustino Patiño Cambeiro &lt;faustinopc@gmail.com&gt;, Odorico Konrad &lt;okonrad@univates.br&gt;

Prezados autores,

Agradecemos a submissão do artigo "ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS: REDUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES PARA ZONA BIOCLIMÁTICA DOIS." à revista Sustentabilidade em Debate.

Após análise das revisões promovidas, informamos que a decisão é aceitar o artigo para publicação em uma das próximas edições da revista.

Para que possamos encaminhar para edição solicitamos que insiram no arquivo em anexo as fontes das imagens, tabelas e gráficos. Pedimos, também, para que verifique as apresentações dos autores e insiram eventuais informações que estejam faltando.

A versão final deve ser encaminhada para o e-mail: [melissacuri@hotmail.com](mailto:melissacuri@hotmail.com).

Agradecemos o interesse em publicar em SeD.

Atenciosamente,

Melissa Curi

[melissacuri@hotmail.com](mailto:melissacuri@hotmail.com)

Coeditora Executiva

SeD

Sustainability in Debate

<http://seer.bce.unb.br/index.php/sust>**Artigo\_25652\_VF.docx**

4877K



RODRIGO SPINELLI &lt;rspinelli@univates.br&gt;

---

**[SustDeb] Decisão editorial**

---

**RODRIGO SPINELLI** <rspinelli@univates.br>

9 de janeiro de 2018 21:50

Para: Melissa Curi &lt;melissacuri@hotmail.com&gt;

Cc: Maurício Henrique Mottin &lt;mhmottin@gmail.com&gt;, Faustino Patiño Cambeiro &lt;faustinopc@gmail.com&gt;, Odorico Konrad &lt;okonrad@univates.br&gt;

Prezada,

Segue em anexo artigo com as correções finais.  
Fico a disposição para esclarecimentos.

Att,

**Prof. Me. Rodrigo Spinelli**

Arquitetura e Urbanismo / Engenharia Civil, CETEC

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Ramal: 5711

[rspinelli@univates.br](mailto:rspinelli@univates.br)

Lajeado - RS - Brasil


[www.univates.br](http://www.univates.br)

Em 8 de janeiro de 2018 17:41, Gabriela Litre &lt;bibliotecasdigitais.naoresponda@bce.unb.br&gt; escreveu:

[Texto das mensagens anteriores oculto]

**Artigo\_25652\_VF (revisado).docx**

4880K



ACESSO RESTRITO

(/sucupira/portais/menu\_portal.jsf)

INÍCIO (/SUCUPIRA/PUBLIC/INDEX.JSF) >> Qualis >> Qualis Periódicos

Qualis Periódicos

\* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2013-2016 ▾

Área de Avaliação:

☐ -- SELECIONE -- ▾ +

ISSN:

☒ 2179-9067

Título:

☒ Sustentabilidade em Debate

Classificação:

☐ -- SELECIONE -- ▾

Consultar

Cancelar

Periódicos




ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO	B4
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	ARQUITETURA, URBANISMO E DESIGN	B3
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	BIODIVERSIDADE	C
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	BIOTECNOLOGIA	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	CIÊNCIAS AGRÁRIAS I	B4
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	B1
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	DIREITO	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	ECONOMIA	B4
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	EDUCAÇÃO	B3
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	ENGENHARIAS I	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	ENGENHARIAS III	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	GEOCIÊNCIAS	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	GEOGRAFIA	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	HISTÓRIA	B2
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	INTERDISCIPLINAR	B2
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	MEDICINA VETERINÁRIA	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL / DEMOGRAFIA	B1
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	PSICOLOGIA	B3

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	SAÚDE COLETIVA	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	SOCIOLOGIA	B4

(/sucupira/public/index.xhtml)

(<http://www.capes.gov.br>) (<http://www.ufrn.br>) (<https://www.rnp.br>) (<http://www.mec.gov.br>) (<http://www.brasil.gov.br>)

Compatibilidade

 (<http://www.google.com/intl/pt-BR/chrome/>)   
(<http://br.mozdev.org/firefox/download/>)  (<http://www.apple.com/safari/download/>)

Versão do sistema: 3.19.0 | Copyright 2016 Capes, Todos os direitos reservados.



## **APÊNDICE E**

Documentos referente ao artigo em avaliação na Revista Sustentabilidade em Debate (ISSN 2179-9067), *Qualis* B1 em Ciências Ambientais.

Gmail

sustentabilidade em debate

5 de aproximadamente 75

Escrever

Caixa de entrada118

Com estrela

Adiados

Enviados

Rascunhos

Contacts

Emailed Contacts

RODRIGO

+

caziebell@gmail.com, Pedro

Pedro Henrique: alo!

Pedro Henrique Gonçalves

Você estava em uma videochan

Comissao Interna de Prevenç

Olá, está aberta a votação para a CI

[sust] Agradecimento pela submissão

Caixa de entrada x

Melissa Curi

<noreplay\_ojs@bce.unb.br>

para eu

qua, 5 de jun 14:14 (há 5 dias)

Professor Rodrigo Spinelli, Spinelli,

Agradecemos a submissão do trabalho "Development of natural and innovative material for application as thermal insulation in buildings." para a Sustentabilidade em Debate.

Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão: <http://periodicos.unb.br/index.php/sust/authorDashboard/submission/25023>

Login: rspinelli

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.


Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

Melissa Curi

Sustentabilidade em Debate

https://mail.google.com/mail/u/0/#search/sustentabilidade+em+debate/FMfcgxwCgzFTLdWrLSGDPMHNTkBPzMV

1/1



ACESSO RESTRITO

(/sucupira/portais/menu\_portal.jsf)

INÍCIO (/SUCUPIRA/PUBLIC/INDEX.JSF) >> Qualis >> Qualis Periódicos

Qualis Periódicos

\* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2013-2016 ▾

Área de Avaliação:

☐ -- SELECIONE -- ▾ +

ISSN:

☒ 2179-9067

Título:

☒ Sustentabilidade em Debate

Classificação:

☐ -- SELECIONE -- ▾

Consultar

Cancelar

Periódicos




ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO	B4
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	ARQUITETURA, URBANISMO E DESIGN	B3
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	BIODIVERSIDADE	C
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	BIOTECNOLOGIA	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	CIÊNCIAS AGRÁRIAS I	B4
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	B1
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	DIREITO	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	ECONOMIA	B4
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	EDUCAÇÃO	B3
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	ENGENHARIAS I	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	ENGENHARIAS III	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	GEOCIÊNCIAS	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	GEOGRAFIA	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	HISTÓRIA	B2
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	INTERDISCIPLINAR	B2
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	MEDICINA VETERINÁRIA	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL / DEMOGRAFIA	B1
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	PSICOLOGIA	B3

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	SAÚDE COLETIVA	B5
2179-9067	SUSTENTABILIDADE EM DEBATE	SOCIOLOGIA	B4

(/sucupira/public/index.xhtmll)

(http://www.capes.gov.br) (http://www.ufrn.br) (https://www.rnp.br) (http://www.mec.gov.br) (http://www.brasil.gov.br)

Compatibilidade

 (http://www.google.com/intl/pt-BR/chrome/)   
(http://br.mozdev.org/firefox/download/)  (http://www.apple.com/safari/download/)

Versão do sistema: 3,19,0 | Copyright 2016 Capes, Todos os direitos reservados.

## **APÊNDICE F**

Documentos referente ao aceite de artigo para apresentação e publicação nos anais do Simpósio Mundial de Sustentabilidade, Conferência Internacional Bridge.



RODRIGO SPINELLI &lt;rspinelli@univates.br&gt;

---

**SUBMISSÃO ARTIGO - Simpósio Mundial de Sustentabilidade, Conferência Internacional Bridge 2019**

---

**RODRIGO SPINELLI** <rspinelli@univates.br>

24 de junho de 2019 20:52

Para: samara.neiva@unisul.br, ODORICO KONRAD &lt;okonrad@univates.br&gt;, ALANA FRANCISCHETT PITOL &lt;alana.pitol@universo.univates.br&gt;, PEDRO HENRIQUE DALL AGNOL PASQUALI &lt;pedro.pasquali@universo.univates.br&gt;

Prezada Samara,

Boa noite.

Segue em anexo artigo para submissão, para o Simpósio Mundial de Sustentabilidade, Conferência Internacional Bridge 2019.

Tema para apresentação:

Eficiência Energética;

Demais, agradeço a atenção, e aguardo confirmação do recebimento do mesmo.

Att,

**Prof. Me. Rodrigo Spinelli**

Arquitetura e Urbanismo / Engenharia Civil, CETEC

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Sala: 506/11

Ramal: 5717

[rspinelli@univates.br](mailto:rspinelli@univates.br)

Lajeado - RS - Brasil

[www.univates.br](http://www.univates.br)**ARTIGO - SIMP.MUND.SUST. R2.doc**

2930K

**Convite para participar no Simpósio Mundial de Sustentabilidade/ Conferência Internacional BRIDGE 2019, na Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, de 17 a 19 de Setembro de 2019**

Samara Da Silva Neiva &lt;samara.neiva@unisul.br&gt;

14 de agosto de 2019 15:37

Para: RODRIGO SPINELLI &lt;rspinelli@univates.br&gt;

Cc: ALANA FRANCISCHETT PITOL &lt;alana.pitol@universo.univates.br&gt;, ODORICO KONRAD &lt;okonrad@univates.br&gt;, "faustinopc@gmail.com" &lt;faustinopc@gmail.com&gt;

Prezados Rodrigo Spinelli, Luã Carneiro, Pedro Henrique Dall Agnol Pasquali, Alana Francischett Pitol, Faustino Patiño-Cambeiro, Odorico Konrad

Temos o prazer de informar a aprovação e o aceite do seu artigo intitulado: "ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS COM UTILIZAÇÃO DE ELEMENTO VEGETAL" para apresentação oral no Simpósio Mundial de Sustentabilidade/ Conferência Internacional BRIDGE 2019.

Em nome do Comitê Organizador e do Comitê Científico Internacional do Simpósio Mundial de Sustentabilidade/ Conferência Internacional BRIDGE 2019, temos o prazer de estender-lhe um cordial convite para participação da conferência, que será realizada de 17 a 19 de Setembro de 2019, na Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis/Palhoça, Brasil.

Destacamos que é pré-condição para a eventual publicação dos artigos, a apresentação oral dos mesmos no Simpósio e o aceite e cumprimento integral das demandas dos revisores, que serão remetidas nas semanas posteriores à realização do evento.

A Sessão Solene de abertura do evento será no dia 18 de Setembro às 8h30 no Edifício Atrium – Cidade Universitária da Pedra Branca, Rua Jair Hamms, 38 Pedra Branca, Palhoça/SC. As apresentações dos artigos ocorrerão na Unisul, Campus Grande Florianópolis - [Avenida Pedra Branca, 25, Cidade Universitária Pedra Branca](#), CEP 88137-270, Palhoça, SC

Por favor, solicitamos aos autores que ainda não realizaram as suas inscrições, que se registrem até ao dia 30 de Agosto no link:

<http://www.unisul.br/wps/portal/home/pesquisa-e-inovacao/seminarios-de-pesquisa/simposio-mundial-de-sustentabilidade-e-conferencia-internacional-bridge-2019>

O principal objetivo da conferência é reunir profissionais de várias partes do mundo para promover o intercâmbio de informações e disseminação de conhecimento, ideias e experiências adquiridas na execução de projetos de sustentabilidade. Estamos ansiosos pela sua participação nas atividades de conferências e apresentações de trabalhos.

Com os melhores cumprimentos,

**Orientações para a apresentação oral:**

**Tempo para apresentação: 10 a 15 minutos (Sem Tolerância)**

**Equipamentos disponíveis na Conferência Internacional:**

A Conferência Internacional vai dispor de:

- Tela e projetor LCD (data show)
- PC-Baseado no computador central com suporte para CD-R e conexão USB
- Cabo VGA para apresentação com o seu próprio laptop

**O computador será equipado com:**

- Windows 7 Professional
- Microsoft Office 2010
- Adobe Acrobat PDF Reader 10
- Depois das seções, todos os dados serão deletados permanentemente do sistema.

**Você pode escolher se fará a sua apresentação com o seu próprio laptop, ou com um computador da sala da apresentação.**

**(1) Fazer a apresentação com seu próprio Laptop**

- Se você preferir usar o seu próprio laptop, por favor, vá para o local designado a você no mínimo 30 minutos antes do começo da sua sessão agendada, e informe um atendente que você irá utilizar o seu próprio laptop.
- Não se esqueça de trazer o seu carregador e adaptador AC também.
- Por favor, traga também os dados de sua apresentação em mídias (USB ou CD-ROM) como um meio de segurança, apenas por precaução.
- Quando a sua vez chegar, por favor, peça ao assistente da sala para conectar o seu laptop.

**(2) Fazer a apresentação com um computador da sala da apresentação**

- Se você preferir utilizar um computador do auditório para fazer a sua apresentação, os arquivos da sua apresentação devem estar salvos no computador antes do tempo previsto para a sua apresentação.
- Você deve salvar o arquivo da sua apresentação na manhã da sua apresentação.
- Nós aceitamos arquivos em Pen Drive ou outro dispositivo com entrada USB, ou CD-ROM.
- Para identificar facilmente o arquivo da sua apresentação no computador e para prevenir confusões imprevistas, por favor, nomeie a sua apresentação com seu nome e sobrenome.
- Ex: **BRIDGE - John\_David**

**Tempo para apresentação: 10 a 15 minutos (Sem Tolerância)**

## **APÊNDICE G**

Documentos referente ao artigo em avaliação na Revista *Environmental Quality Management* (ISSN 1088-1913), *Qualis* B1 em Ciências Ambientais.





RODRIGO SPINELLI &lt;rspinelli@univates.br&gt;

---

**ARTICLE SUBMISSION****RODRIGO SPINELLI** <rspinelli@univates.br>

27 de agosto de 2019 14:30

Para: caroljforrest@aol.com

Cco: ODORICO KONRAD &lt;okonrad@univates.br&gt;, PEDRO HENRIQUE DALL AGNOL PASQUALI &lt;pedro.pasquali@universo.univates.br&gt;, Faustino Patiño Cambeiro &lt;faustinopc@gmail.com&gt;, ALANA FRANCISCHETT PITOL &lt;alana.pitol@universo.univates.br&gt;

Dear Editors of Environmental Quality Management,

Good afternoon.

As per article submission guidelines and rules outlined on the Journal's website (<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/15206483/homepage/forauthors.html>), without attachment to journal submission article Environmental Quality Management.Title of the article: **ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE INVOLVEMENT OF AN EDUCATIONAL BUILDING USING THE PRESCRIPTION METHOD (RTQ-C).**

Authors: Rodrigo Spinelli, Alana Francischett Pitol, Pedro Henrique Dall'Agnol Pasquali, Faustino Patiño Cambeiro and Odorico Konrad.

Thank you for your attention, and we look forward to your consideration of the submitted article.

Att,

**Prof. Me. Rodrigo Spinelli**

Arquitetura e Urbanismo / Engenharia Civil, CETEC

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Sala: 506/11

Ramal: 5717

[rspinelli@univates.br](mailto:rspinelli@univates.br)

Lajeado - RS - Brasil

[www.univates.br](http://www.univates.br)**FINAL PAPER - 27.08.19.docx**

1459K



## Author Guidelines

For additional tools visit [Author Resources](#) - an enhanced suite of online tools for Wiley InterScience journal authors, featuring Article Tracking, E-mail Publication Alerts and Customized Research Tools.

- [Copyright Transfer Agreement](#)
- [Permission Request Form](#)

## Author Guidelines

### Electronic Guidelines

**Style and Content.** Articles should be informative and practical. The primary audience for *Environmental Quality Management* includes environmental managers, engineers, quality directors, and other environmental professionals.

Articles should be informative and analytical, but not narrowly technical. We seek material that will keep our readers up to date on both legal and practical developments in environmental management of business organizations.

**Length.** Articles may range in length from approximately 2,500 to 6,000 words. A 25- to 50-word summary of the article should be included.

**Footnotes and References.** Footnotes and references should be kept to a minimum. All references to journal articles and books should conform to the following style:

*Journal article:* Glynn, B. A. (2001, Autumn). Electronic trends in environmental reporting and recordkeeping. *Environmental Quality Management*, 11(1), 21-27.

*Book:* Bierma, T. J., & Waterstraat, F. L., Jr. (2000). Total cost of chemical ownership. In *Chemical management: Reducing waste and cost through innovative supply strategies* (Part 1, Chapter 5). New York: John Wiley & Sons.

*Electronic:* United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2009). Clean Development Mechanism (CDM). Retrieved from <http://cdm.unfccc.int/index.html>

URLs should be included for all electronic sources.

**Author Biographies.** A brief biographical statement for each author should accompany the article. This should include his or her title, field of expertise, company or other organizational affiliation, and the location of the organization.

**Graphic Illustrations.** All graphic illustrations should be presented as high-quality originals. Graphics provided in color will remain in color for the online version and will be converted to grayscale for the printed issue.

**Submission Requirements.** Authors are encouraged to submit manuscripts via e-mail. Manuscripts should be sent as e-mail attachments (preferably in Microsoft Word) directly to the editor at [caroljforrest@aol.com](mailto:caroljforrest@aol.com). *Submitted articles must not have been published previously and may not be simultaneously submitted elsewhere.*

By submitting a manuscript to or reviewing for this publication, your name, email address, and affiliation, and other contact details the publication might require, will be used for the regular operations of the publication, including, when necessary, sharing with the publisher (Wiley) and partners for production and publication. The publication and the publisher recognize the importance of protecting the personal information collected from users in the operation of these services, and have practices in place to ensure that steps are taken to maintain the security, integrity, and privacy of the personal data collected and processed. You can learn more at <https://authorservices.wiley.com/statements/data-protection-policy.html>.

**Accepted Manuscripts.** All accepted manuscripts are subject to editing. Authors have final approval of changes prior to publication.

**Video Abstracts.** A video abstract can be a quick way to make the message of your research accessible to a much larger audience. Wiley and its partner Research Square offer a service of professionally produced video abstracts, available to authors of articles accepted in this journal. You can learn more about it at [www.wileyauthors.com/videoabstracts](http://www.wileyauthors.com/videoabstracts). If you have any questions, please direct them to [videoabstracts@wiley.com](mailto:videoabstracts@wiley.com).

### Disk Submission Instructions

**Please return your final, revised manuscript on disk as well as hard copy.**

**The hard copy must match the disk.**

The Journal strongly encourages authors to deliver the final, revised version of their accepted manuscripts (text, tables, and, if possible, illustrations) on disk. Given the near-universal use of computer word-processing for manuscript preparation, we anticipate that providing a disk will be convenient for you, and it carries the added advantages of maintaining the integrity of your keystrokes and expediting typesetting. Please return the disk submission slip below with your manuscript and labeled disk(s).

### Guidelines for Electronic Submission

#### Text

**Storage medium.** Authors are encouraged to submit manuscripts via e-mail. Otherwise preferred storage media is compact disc (CD).

**Software and format.** Microsoft Word is preferred, although manuscripts prepared with any other microcomputer word processor are acceptable. Refrain from complex formatting; the Publisher will style your manuscript according to the Journal design specifications. Do not use desktop publishing software such as Aldus PageMaker or Quark XPress. If you prepared your manuscript with one of these programs, export the text to a word processing format. Please make sure your word processing program's "fast save" feature is turned off. Please do not deliver files that contain hidden text: for example, do not use your word processor's automated features to create footnotes or reference lists.

**Labels.** Label all disks with your name, the file name, and the word processing program and version used.

#### Illustrations

All print reproduction requires files for all images. All images will be reproduced in a grayscale format in the printed issue. Images provided in color will remain in color for the online version.

**Software and format.** All illustration files should be in TIFF or EPS (with preview) formats. Do not submit illustrations embedded in Microsoft Word. In such cases, it is preferred to use the native application format.

**Resolution.** Journal quality reproduction will require grayscale files at resolutions yielding approximately 300 dpi. Bitmapped line art should be submitted at resolutions yielding 600-1200 dpi. These resolutions refer to the output size of the file; if you anticipate that your images will be enlarged or reduced, resolutions should be adjusted accordingly.

**File names.** Illustration files should be given the 2- or 3-letter extension that identifies the file format used (i.e., .tif, .eps)

*Environmental Quality Management* is covered by Wiley's Early View service. Early View articles are complete full-text articles published online in advance of their publication in a printed issue. Articles are therefore available as soon as they are ready, rather than having to wait for the next scheduled print issue. Early View articles are complete and

final. They have been fully reviewed, revised and edited for publication, and the authors' final corrections have been incorporated. Because they are in final form, no changes can be made after online publication. The nature of Early View articles means that they do not yet have volume, issue or page numbers, so Early View articles cannot be cited in the traditional way. They are therefore given a Digital Object Identifier (DOI), which allows the article to be cited and tracked before it is allocated to an issue. After print publication, the DOI remains valid and can continue to be used to cite and access the article.

 [Browse free sample issue](#)

 [Get content alerts](#)

 [Subscribe to this journal](#)

#### More from this journal

[Awards and Recognition](#)  
[General Call for Papers](#)  
[Access Options](#)  
[How to Register for New Content Alerts](#)  
[Jobs](#)

#### About Wiley Online Library

[Privacy Policy](#)  
[Terms of Use](#)  
[Cookies](#)  
[Accessibility](#)

[Help & Support](#)

[Contact Us](#)

[Opportunities](#)

[Subscription Agents](#)  
[Advertisers & Corporate Partners](#)

[Connect with Wiley](#)

[The Wiley Network](#)  
[Wiley Press Room](#)

Copyright © 1999-2019 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved

ACESSO RESTRITO  
(/sucupira/portais/menu\_portal.jsf)

Qualis Periódicos

\* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2013-2016 ▾

Área de Avaliação:

☐ -- SELECIONE -- ▾ +

ISSN:

☐

Título:

☒ Environmental Quality Management

Classificação:

☐ -- SELECIONE -- ▾

Consultar

Cancelar

Periódicos

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
1520-6483	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO	A2
1088-1913	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT (PRINT)	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO	A2
1088-1913	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT (PRINT)	BIOTECNOLOGIA	B4
1520-6483	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT	CIÊNCIA POLÍTICA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS	B1
1088-1913	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT (PRINT)	CIÊNCIA POLÍTICA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS	B1
1088-1913	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT (PRINT)	CIÊNCIAS AGRÁRIAS I	B2
1088-1913	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT (PRINT)	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	B1
1088-1913	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT (PRINT)	ENGENHARIAS I	B3
1088-1913	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT (PRINT)	ENGENHARIAS III	B3
1088-1913	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT (PRINT)	INTERDISCIPLINAR	B2
1088-1913	ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT (PRINT)	ZOOTECNIA / RECURSOS PESQUEIROS	B3

Início

Anterior

1 ▾

Próxima

Fim

1 a 11 de 11 registro(s)

(/sucupira/public/index.xhtml)

(<http://www.capes.gov.br>) (<http://www.ufrn.br>) (<https://www.mpb.br>) (<http://www.mec.gov.br>) (<http://www.planalto.gov.br>)

Compatibilidade

(<http://www.google.com/intl/pt-BR/chrome/>) (<http://br.mozdev.org/firefox/download/>) (<http://www.apple.com/safari/download/>)

Versão do sistema: 3.22.1 | Copyright 2016 Capes. Todos os direitos reservados.



**UNIVATES**

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09